

УДК 697.1:536.2

Ю.С. ВЫТЧИКОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры общей и прикладной физики и химии Самарский государственный архитектурно-строительный университет

А.В. СИДОРОВА

аспирант кафедры общей и прикладной физики и химии Самарский государственный архитектурно-строительный университет

**ОРГАНИЗАЦИЯ ВОЗДУХООБМЕНА
В СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЯХ***AIR EXCHANGE ORGANIZATION IN MODERN ENERGY EFFICIENT BUILDINGS*

Приводится методика расчета воздухообмена в современных зданиях, учитывающая воздухопроницаемость ограждающих конструкций.

Ключевые слова: воздухообмен, воздухопроницаемость, наружная стена, фильтрация, вентиляция.

Традиционно для обеспечения нормативного воздухообмена в жилых и общественных зданиях проектируется вентиляция с естественным побуждением, предусматривающая организованную вытяжку через вытяжные шахты на улицу, и неорганизованный приток за счет инфильтрации и через неплотности в оконных и дверных проемах.

Для обеспечения санитарно-гигиенических требований жизнедеятельности людей в помещении необходимо постоянное поступление свежего наружного воздуха. В табл. 1 приведены минимальные нормы воздухообмена по различным нормативным документам.

С повышением норм теплозащиты ограждающих конструкций в 1995 г. на смену оконным блокам с двойным остеклением в спаренных или отдельных переплетах пришли оконные блоки с герметичными стеклопакетами в переплетах из ПВХ.

Air exchange design procedure for modern buildings is given in the paper. The design procedure takes into account air permeability of external walling.

Key words: air exchange, air permeability, external wall, filtration, ventilation.

Оконные блоки в переплетах из ПВХ с эластичными резиновыми прокладками обладают значительно меньшей воздухопроницаемостью по сравнению с ранее используемыми деревянными окнами. При этом воздухопроницаемость современных оконных конструкций в некоторых случаях сопоставима с воздухопроницаемостью наружных стен.

Оценим количество поступающего в помещение воздуха через окна и наружные стены некоторых типовых ограждающих конструкций в процентном соотношении. Сравнение проведем для конструкций, применявшихся до 1995 г. с деревянными окнами, выполненными по ГОСТ 11214-78 марки ОР 15-15, и современных - с пластиковыми окнами производства ООО «Свет».

Для анализа рассмотрим воздухопроницаемость ограждающей конструкции жилой комнаты площадью 16 м², расположенной в одноэтажном

Таблица 1

Нормы воздухообмена в жилых зданиях по данным различных источников

Наименование помещений	СНиП 2.08.01-89* «Жилые здания»	СТО НП «АВОК» 2.1-2008	СНиП 31-01-2003 «Здания жилые многоквартирные»	
			В нерабочем режиме	В режиме обслуживания
Жилые комнаты	3 м ³ /ч на 1 м ² пола	Кратность 0,35, но не менее 30 м ³ /ч на человека	Кратность 0,2	Кратность 0,5-1,0
Кухни	От 60 до 90 м ³ /ч	От 60 до 90 м ³ /ч	Кратность 0,5	90 м ³ /ч
Ванные комнаты, туалеты	25 м ³ /ч	От 25 до 50 м ³ /ч	Кратность 0,5	25 м ³ /ч

здании с наветренной стороны. Площадь наружной стены – 7 м², площадь окна – 2 м².

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции при скорости ветра $v=1$ м/с и температуре наружного воздуха $t_n=-30$ °С составит $\Delta p = 4,43$ Па.

Количество воздуха G , кг/ч, проходящего через стену, определим по формуле

$$G = \frac{\Delta p}{R_u} \cdot F, \quad (1)$$

где F – площадь стены, м²; R_u – сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции, (м²·ч·Па)/кг.

Количество воздуха G , кг/ч, проходящего через окно, определим по формуле

$$G = i_m \cdot \Delta p \cdot F, \quad (2)$$

где $i_m = 0,32 \cdot G^* / \Delta p^{0,5}$ – коэффициент воздухопроницаемости при турбулентном режиме фильтрации воздуха, кг/(м²·ч·Па); G^* – экспериментальное значение воздухопроницаемости при $\Delta p = 10$ Па, кг/(м²·ч).

По данным, приведенным в [1], воздухопроницаемость деревянного оконного блока в спаренных переплетах с двойным остеклением составит

$G^* = 3,4$ кг/(м²·ч). Коэффициент воздухопроницаемости $i_m = 0,348$ кг/(м²·ч·Па).

Количество фильтрующегося воздуха через окно при $\Delta p=4,43$ Па будет равно $G=3,1$ кг/ч.

Оконные блоки, состоящие из двухкамерных стеклопакетов в переплетах из ПВХ производства ООО «Свет», обладают воздухопроницаемостью

$G^* = 0,07$ кг/м²·ч по данным, приведенным в [2].

Коэффициент воздухопроницаемости $i_m = 0,007$ кг/м²·ч·Па.

Количество фильтрующегося воздуха через окно при $\Delta p=4,43$ Па будет равно $G=0,06$ кг/ч.

Результаты анализа приведены в табл. 2, 3.

Проведенный анализ показал, что при применении деревянных оконных блоков в строительстве доля фильтрующегося воздуха через стены составила всего лишь 2-6 % от общего расхода поступающего воздуха.

Данное обстоятельство объясняет отсутствие в нормативной литературе методики учета инфильтрации воздуха через стены и ее влияние на воздухообмен в помещении.

Таблица 2

Воздушный баланс для жилой комнаты здания, построенного до 1995 г.

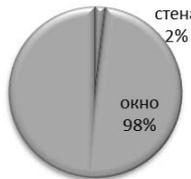
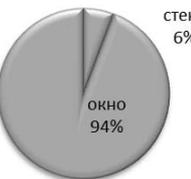
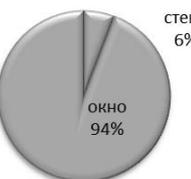
Конструкция наружной стены	Сопротивление теплопередаче R_w , м ² ·°С/Вт	Сопротивление воздухопроницанию R_w , м ² ·ч·Па/кг	Количество воздуха, проходящего через стену, G , кг/ч	Количество воздуха, проходящего через окно, G , кг/ч	Доля воздухопроницаемости окон и стен от общего кол-ва поступающего воздуха, %
Стена из трехслойных керамзитобетонных панелей толщиной 350 мм $\gamma=1200$ кг/м ³	1,02	490	0,06	3,1	 стена 2% окно 98%
Кладка из керамического кирпича толщиной 510 мм на цементно-песчаном растворе с внутренней стороны - штукатурка известково-песчаным раствором 20 мм	1,07	160	0,19	3,1	 стена 6% окно 94%
Кладка из силикатного кирпича толщиной 640 мм на цементно-песчаном растворе с внутренней стороны - штукатурка известково-песчаным раствором 20 мм	1,03	160	0,19	3,1	 стена 6% окно 94%

Таблица 3

Воздушный баланс для жилой комнаты здания, построенного после 2000 г.

Конструкция наружной стены	Сопро- тивление теплопере- даче $R_{и}, \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$	Сопротивле- ние воздухо- проницанию $R_{и}, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}$	Количество воздуха, проходя- щего через стену, $G, \text{ кг/ч}$	Количество воздуха, проходя- щего через окно, $G, \text{ кг/ч}$	Доля воздухопро- ницаемости окон и стен от общего ко- лва поступающего воздуха, %
Кладка из силикатного кирпича тол- щиной 510 мм на цементно-песчаном растворе. С наружной стороны утепле- ние вентилируемой фасадной системой ЛАЭС-П, пенополистирол ПСБС-25 толщиной 100 мм	3,37	584,1	0,05	0,06	
Кладка из керамического кирпича толщиной 380мм на цементно-песчаном растворе. С наружной стороны - утепле- ние вентилируемой фасадной системой ЛАЭС-М, плиты из базальтовой минва- ты Rockwool толщиной 100 мм	3,14	145	0,21	0,06	
Монолитный крупнопористый беспесча- ный керамзитобетон толщиной 400 мм, с наружной стороны фактурное покры- тие ЛАЭС 3,5 мм. С внутренней – обшив- ка гипсокартоном толщиной 10 мм	3,6	237	0,13	0,06	
Монолитный крупнопористый беспесча- ный керамзитобетон толщиной 350 мм, с внутренней стороны - кладка из си- ликатного кирпича толщиной 120 мм, оштукатуривание известково-песчаным раствором толщиной 20 мм. С наруж- ной стороны облицовка керамическим кирпичом толщиной 120 мм	3,24	163	0,19	0,06	

Внедрение в массовое строительство герметич-
ных пластиковых стеклопакетов свело к минимуму
поступление свежего наружного воздуха в помеще-
ние через окна. Вклад фильтрации воздуха через на-
ружные стены вырос и варьируется от 46 до 77 % в за-
висимости от применяемой стеновой конструкции.

В связи с этим решающая роль в обеспечении
свежим наружным воздухом помещений возлагает-
ся на наружные стены.

При разработке современных ограждающих
конструкций с повышенным уровнем теплозащиты
необходимо уделять значительное внимание вопросам
воздухопроницаемости строительных материалов.

В основе теории фильтрации воздуха через
толщу ограждающих конструкций положен закон
сопротивления при фильтрации жидкости – закон
Дарси. В результате систематических опытов по
фильтрации в пористых материалах Ланг установил
аналогичную зависимость для воздухопроницаемо-
сти – закон Ланга. В качестве основной характери-
стики фильтрационных свойств материала Ланг предло-
жил понятие коэффициента воздухопроницаемости.

Р.Е. Бриллингом были определены коэффициенты
воздухопроницаемости строительных материалов,
применявшиеся в то время. Всесторонними исследо-
ваниями различных аспектов воздухопроницаемо-
сти и фильтрации также занимались: Ю.А. Калядин,
В.Д. Мачинский, Ф.В. Ушков, А.В. Лыков, К.Ф. Фо-
кин, В.Н. Богословский, В.П. Титов, Е.В. Медведева,
А.Д. Кривошеин. За рубежом вопросами фильтра-
ции воздуха занимались E. Raisch, W. Voss. Анализ
теплопередачи через пористые стенки при наличии
фильтрации воздуха, проведенный Ф.В. Ушковым,
показал, что расход тепла на проветривание поме-
щений при применении наружных ограждений из
пористых материалов можно сократить в 1,5-2 раза.
Разработкой воздухопроницаемых ограждений за-
нимались В.С. Беляев, А.Н. Цвяк и др. В.С. Беляе-
вым был разработан алгоритм теплотехнического
расчета конструкций, позволяющий создавать раз-
личные типы конструкций с многократным движе-
нием воздуха. Учетом влияния инфильтрации воз-
духа через окна зданий на работу вытяжных систем
в течение года занимались В.П. Титов, В.Е. Констан-

тинова, Е.Х. Китайцева, Е.Г. Малявина. Наиболее полно воздухообмен в зданиях изложен в работах И.Ф. Ливчака [3].

Для анализа естественного воздухообмена в помещении необходимо определение разности давлений с двух сторон ограждения. Найти перепад давления по обе стороны ограждения возможно несколькими способами. В.Х. Фрибе первым сформулировал понятие нейтральной зоны. Профессором П.Н. Каменевым был предложен метод избыточных давлений, профессором В.В. Батуриным – метод фиктивных давлений. В МИСИ им. В.В. Куйбышева был разработан способ построения эпюр давления методом введения условного нуля, расположенного в точке системы с минимальным давлением.

Оценим влияние воздухопроницаемости стен на эффективность воздухообмена в помещениях.

Расчет будем выполнять при следующих допущениях:

- двери, выходящие на лестничную клетку, считаем герметично закрытыми;
- температуру наружного воздуха по высоте принимаем постоянной;
- воздухопроницаемостью внутренних перегородок пренебрегаем;
- скорость ветра по высоте принимаем постоянной.

При принятых допущениях квартиры на каждом этаже являются изолированными.

Влияние теплового напора на воздухообмен в зданиях в течение года постоянно, в отличие от действия ветра, скорость и направление которого непрерывно меняется.

Эпюры давления при совместном действии теплового, ветрового напора и вытяжной вентиляции приведены на рис. 1.

Давление p_m , даПа, создаваемое тепловым напором, равно:

$$p_m = h \cdot (\rho_n - \rho_e), \tag{3}$$

где h – высота помещения, м; ρ_n , ρ_e – плотность соответственно наружного и внутреннего воздуха, кг/м³.

Разность давлений между помещением и наветренной и заветренной наружными поверхностями соответственно определится:

$$p_{вн} = p_n - p_e, \tag{4}$$

$$p_{вз} = p_e - p_3, \tag{5}$$

где $p_n = c_n \cdot \frac{\rho \cdot g^2}{2q}$ – давление с наветренной стороны здания, даПа; $p_3 = c_3 \cdot \frac{\rho \cdot g^2}{2q}$ – давление

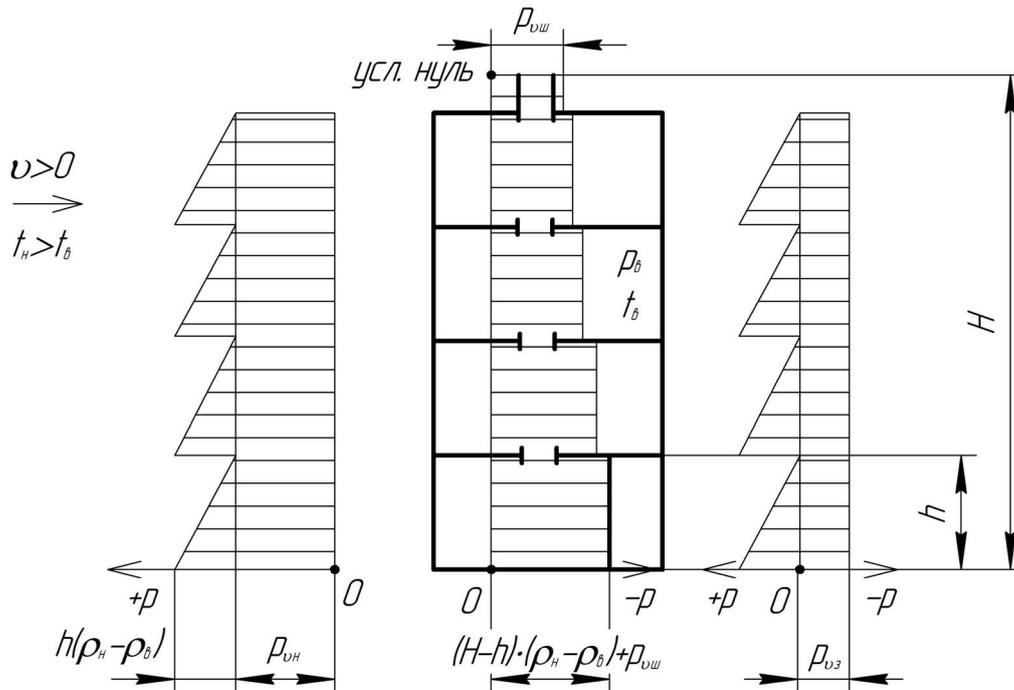


Рис. 1. Эпюры давления гравитационных и динамических сил

с заветренной стороны здания, даПа; C_n, C_3 – аэродинамические коэффициенты, зависящие от формы здания и направления ветра; \mathcal{G} – скорость ветра, м/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³; p_v – среднее давление в квартире, даПа.

Количество инфильтрирующегося воздуха $L_{инф}$, м³/ч, при работающей вытяжной вентиляции должно быть равно количеству удаляемого вытяжного воздуха $L_{вт}$, м³/ч, и количеству эксфильтрирующегося $L_{экс}$, м³/ч:

$$L_{инф} = L_{вт} + L_{экс}. \quad (6)$$

Количество инфильтрирующегося и эксфильтрирующегося воздуха при совместном действии теплового и ветрового напоров определяется формулами:

$$L_{инф} = I \cdot F \cdot (p_m + p_n - p_v), \quad (7)$$

$$L_{экс} = I \cdot F \cdot (p_v + p_m - p_3). \quad (8)$$

Количество удаляемого естественной вентиляцией воздуха по [4] равно:

$$L_{вт} = \frac{1}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_p}{S}}, \quad (9)$$

где Δp_p – располагаемое давление вытяжной шахты, даПа:

$$\Delta p_p = (H - h) \cdot (\rho_n - \rho_v) + c_3 \frac{\rho \mathcal{G}^2}{2g}, \quad (10)$$

где H – высота здания (от уровня пола этажа до верха вытяжной шахты), м;

S – характеристика сопротивления воздухопроницанию, Па·ч²/кг².

Для вытяжной шахты с естественным побуждением воздуха характеристика сопротивления воздухопроницанию, согласно [4], определяется формулой

$$S = (R h_{ш} n + Z) / G_{расч}^2, \quad (11)$$

где $(R h_{ш} n + Z)$ – потери давления в шахте длиной $h_{ш}$, Па; $G_{расч}$ – расчетный расход удаляемого воздуха, кг/ч.

При наличии в помещении нескольких втяжных каналов с характеристиками сопротивления S_1, S_2, \dots, S_n эквивалентное сопротивление рассчитывается по формуле

$$S = \frac{1}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{1}{(S_i)^{0.5}} \right]^2}. \quad (12)$$

В результате получим систему уравнений:

$$\begin{cases} L_{инф} = L_{экс} + L_{эм} \\ L_{инф} = I \cdot F_n \cdot (p_m + p_n - p_v) \\ L_{экс} = I \cdot F_3 \cdot (p_m + p_v - p_3) \end{cases}. \quad (13)$$

Отсюда:

$$p_v = \frac{I(F_n p_n + F_3 p_3 + p_m(F_n + F_3)) - L_{эм}}{I(F_3 + F_n)}, \quad (14)$$

$$\text{где } L_{эм} = \frac{1}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{(H - h) \cdot (\rho_n - \rho_v) + p_v - p_3}{S}}. \quad (15)$$

В результате преобразований получим квадратное уравнение относительно p_v . Ввиду сложности преобразований значение p_v рассчитывается с помощью программы Microsoft Excel.

Таким образом, влияние инфильтрирующегося воздуха на эффективность вытяжной вентиляции с естественным побуждением переменено и зависит от воздухопроницаемости ограждающей конструкции, температуры внутреннего и наружного воздуха, скорости и направления ветра, высоты вытяжной шахты.

Рассмотрим эффективность воздухообмена в жилом 16-этажном доме, стены которого выполнены из силикатного кирпича ($\delta_1=0,51\text{м}$, $i=0,0139\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$) и оштукатурены известковым раствором ($\delta_1=0,02\text{м}$, $i=0,000106\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$), утепленные фасадной системой ЛАЭС-П ($\delta_1=0,1\text{м}$, $i=0,00063\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$) с фактурным слоем ($\delta_1=0,008\text{м}$, $i=0,00004\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$) [5].

Расчет будем вести для средних климатических условий (наружной температуры $t_n=+5^\circ\text{C}$, скорости ветра $v=2$ м/с). Направление ветра примем юго-восточным, аэродинамические коэффициенты $c_n=0,7$, $c_3=-0,5$.

План квартиры представлен на рис. 2. Жилая площадь комнат – 49,06 м², общая площадь – 86,88 м², объем помещений – 224 м³. Высота этажа в чистоте – 2,7 м. Окна комнат пластиковые с двухкамерными стеклопакетами ориентированы на юг и на север. Торцевая стена – глухая с ориентацией на запад.

Приток наружного воздуха неорганизованный и осуществляется постоянно через неплотности в ограждающих конструкциях (окна, двери), и периодический – через регулируемые оконные створки.

Удаление воздуха осуществляется из верхней зоны кухни и ванной через вентиляционные каналы, расположенные во внутренних стенах.

Вытяжка из туалета происходит путем перетекания воздуха из этого помещения в ванную через отверстие в верхней части стены, разделяющей эти помещения. По проекту в квартире имеется вытяжной канал на кухне 270х270,

расчетный расход удаляемого воздуха $L_1=90 \text{ м}^3/\text{ч}$, $v_1=0,34 \text{ м/с}$ и вытяжной канал в санузле 140х270 $L_2=25 \text{ м}^3/\text{ч}$, $v_2=0,18 \text{ м/с}$, что соответствует нормативным документам.

В спальня, общей и детской комнатах кратность воздухообмена (приток воздуха) должна быть в нерабочем режиме 0,2 и в режиме обслуживания – 1,0 объема помещения в час.

Таблица 4

Исходные данные для расчета кратности воздухообмена в жилом доме

Температура внутреннего воздуха $t_{в}$, °С		20
Температура наружного воздуха $t_{н}$, °С		5
Высота этажа h , м		2,7
Площадь стен F , м ²	с наветренной стороны	56,9
	с заветренной стороны	41,2
Площадь окон F , м ²	с наветренной стороны	2,5
	с заветренной стороны	7,7
Давление, создаваемое тепловым напором p_m , даПа		0,19
Давление, создаваемое ветровым напором p_v , даПа	с наветренной стороны	0,18
	с заветренной стороны	-0,13

Таблица 5

Результаты расчета кратности воздухообмена в жилом доме

№ этажа	Длина вытяжной шахты (Н-н), м	Хар-ка сопротивления воздухопроницанию шахты в кухне s_1 , Па \cdot ч ² /кг ²	Хар-ка сопротивления воздухопроницанию шахты в с/у s_2 , Па \cdot ч ² /кг ²	Эквивалентное сопротивление s , Па \cdot ч ² /кг ²	Внутреннее давление $P_{в}$, даПа	Перепад давлений на наветренной стороне здания $\Delta P_{н}$, даПа	Перепад давлений на заветренной стороне здания $\Delta P_{з}$, даПа	Расход инфильтрующегося воздуха $L_{инф}$, М ³ /ч		Расход эксфильтрующегося воздуха $L_{экс}$, М ³ /ч		Расход удаляемого воздуха $L_{уд}$, М ³ /ч	Кратность воздухообмена n , 1/ч
								через стены	через окна	через стены	через окна		
1	42,5	0,00022	0,00271	0,00013	-6,5	6,9	-6,2	4,2	1,2	2,8	3,3	11,5	0,05
2	39,8	0,00019	0,00252	0,00012	-5,9	6,3	-5,6	3,9	1,1	2,5	3,0	10,6	0,05
3	37,1	0,00017	0,00234	0,00011	-5,6	5,9	-5,2	3,7	1,0	2,4	2,8	9,9	0,04
4	34,4	0,00016	0,00218	0,00009	-5,2	5,5	-4,9	3,4	1,0	2,2	2,6	9,2	0,04
5	31,7	0,00015	0,00202	0,00009	-4,8	5,2	-4,5	3,2	0,9	2,0	2,4	8,5	0,04
6	29	0,00014	0,00185	0,00008	-4,4	4,8	-4,1	3,0	0,8	1,8	2,2	7,9	0,04
7	26,3	0,00013	0,00169	0,00008	-4,0	4,4	-3,7	2,7	0,8	1,7	2,0	7,2	0,03
8	23,6	0,00012	0,00153	0,00007	-3,7	4,0	-3,3	2,5	0,7	1,5	1,8	6,5	0,03
9	20,9	0,00011	0,00137	0,00006	-3,3	3,7	-3,0	2,3	0,6	1,3	1,6	5,8	0,03
10	18,2	0,00010	0,00121	0,00006	-2,9	3,3	-2,6	2,0	0,6	1,2	1,4	5,2	0,02
11	15,5	0,00009	0,00105	0,00005	-2,5	2,9	-2,2	1,8	0,5	1,0	1,2	4,5	0,02
12	12,8	0,00008	0,00089	0,00004	-2,2	2,5	-1,8	1,6	0,4	0,8	1,0	3,8	0,02
13	10,1	0,000066	0,000710	0,000039	-1,8	2,1	-1,5	1,3	0,4	0,7	0,8	3,1	0,01
14	7,4	0,000056	0,000548	0,000032	-1,4	1,8	-1,1	1,1	0,3	0,5	0,6	2,5	0,01
15	4,7	0,000046	0,000387	0,000026	-1,0	1,4	-0,7	0,9	0,2	0,3	0,4	1,8	0,01
16	2	0,000036	0,000225	0,000019	-0,6	1,0	-0,3	0,6	0,2	0,1	0,2	1,1	0,00

При площади пола в комнатах 49,06 м² и объеме 132,5 м³ воздухообмен должен быть: в нерабочем режиме – 27 м³/ч; в режиме обслуживания – 133 м³/ч.

Сопротивление воздухопроницанию ограждающей конструкции $R_{и}$, (м²·ч·Па)/кг, составит:

$$R_{и} = \frac{0,02}{0,000106} + \frac{0,51}{0,0139} + \frac{0,1}{0,00063} + \frac{0,008}{0,00004} = 584,1$$

Исходные данные для расчета кратности воздухообмена в жилых помещениях 16-этажного жилого дома приведены в табл. 4, результаты расчета – в табл. 5.

Проделанный расчет показал, что закладываемый на этапе проектирования расход удаляемого воздуха в реальных условиях при отсутствии организованного притока обеспечить не может. Располагаемого напора вытяжной вентиляции с естественным побуждением для обеспечения инфильтрации воздуха в помещение недостаточно.

В связи с отсутствием должного притока воздуха нередко происходит опрокидывание тяги, когда один из вытяжных каналов начинает работать на приток, что приводит к выхолаживанию помещений, нарушению метеорологических параметров. Особенно опасно это явление в помещениях с газоиспользующим оборудованием. Опрокидывание тяги в дымовых каналах приводит к гашению пламени в горелках. Несгоревший газ, поступая в помещение, вызывает отравление со смертельным исходом, может привести к взрыву.

Для исключения опрокидывания тяги на этапе проектирования при расчете вытяжной вентиляции с естественным побуждением необходимо производить балансировку между всеми вытяжными каналами каждой изолированной квартиры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савин, В.К. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение [Текст] / В.К. Савин. – М.: Лазур, 2005. – 432 с.
2. Вытчиков, Ю.С. Техническое заключение по теме: «Исследование воздухопроницаемости строительных ограждающих конструкций и проведение тепловизионного обследования административного здания со встроенной стоянкой легкового автотранспорта расположенного по адресу: Самарский район, г. Самара, ул. Водников 24-26» [Текст] / Ю.С. Вытчиков, И.Г. Беляков, Г.А. Бакуров, А.С. Прилепский; ЦЭС СГАСУ. – Самара, 2008. – 64 с.
3. Ливчак, И.Ф. Вентиляция многоэтажных жилых зданий [Текст] / И.Ф. Ливчак, А.Л. Наумов. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005.–136 с.
4. Богословский, В.Н. Отопление и вентиляция: учебник для вузов: в 2 ч. Ч. 2. Вентиляция [Текст] / В.Н. Богословский, В.И. Новожилов, Б.Д. Симаков, В.П. Титов. – М.: Стройиздат, 1976. – 439 с.
5. Вытчиков, Ю.С. Исследование эффективности работы вентиляции в многоэтажном жилом здании [Текст] / Ю.С. Вытчиков, А.В. Сидорова // Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах: XI Международная научно-практическая конференция. – Пенза: ПГУАС, 2010.

© Вытчиков Ю.С., Сидорова А.В., 2013