

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-125-130

УДК 697.92

Определение воздухообмена в помещениях общественных зданий с большой площадью светопрозрачных конструкций

Канд. техн. наук, доц. Л. В. Борухова¹⁾, инж. А. С. Шибeko¹⁾¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Рассмотрены причины несоответствия параметров внутреннего воздуха в теплый период года для помещений общественных зданий с большой площадью светопрозрачных конструкций. Основная причина некомфортной воздушной обстановки – заниженное значение расхода приточного воздуха из-за расчета воздухообмена по кратностям или норме воздухообмена на одного сотрудника, которые являются определяющей величиной только для холодного периода и переходных условий. То есть кратности и норма воздухообмена не учитывают насыщенность современных офисов оборудованием, теплопоступления от которого составляют значительную величину. Проведены анализ и сравнение существующих норм воздухообмена для Республики Беларусь, Российской Федерации, стран Европы и США. Выполнен расчет поступлений теплоты и воздухообмена для помещения общественного здания в теплый период года для ассимиляции избытков явной теплоты при различных ориентациях светопрозрачного фасада; приведена структура теплопоступлений в помещение. Исходя из воздухообмена, определена требуемая норма расхода приточного воздуха на одного сотрудника, произведено сравнение с существующей нормой воздухообмена. Требуемая норма превышает нормативную в среднем в 12 раз. Но данное обстоятельство не говорит о необходимости увеличения нормы во столько раз, так как это повлечет повышение капитальных и эксплуатационных затрат. В связи с этим рассмотрены варианты улучшения микроклимата в помещениях зданий с большой площадью светопрозрачных конструкций: автоматическое регулирование теплоотдачи отопительных приборов в холодный период года; использование кондиционирования воздуха и увеличение разности температур приточного и удаляемого воздуха в теплый период.

Ключевые слова: воздухообмен, теплопоступления, микроклимат, общественные здания, светопрозрачные конструкции

Для цитирования: Борухова, Л. В. Определение воздухообмена в помещениях общественных зданий с большой площадью светопрозрачных конструкций / Л. В. Борухова, А. С. Шибeko // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 2. С. 125–130. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-125-130

Determination of Air Exchange in Public Building Premises Having Large Area of Translucent Structures

L. V. Borukhava¹⁾, A. S. Shybeka¹⁾¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper considers reasons of internal air parameter mismatch in warm season of the year for public building premises having large area of translucent structures. The main reason of uncomfortable air environment is an underestimated value of air supply volume due to air exchange calculation according to multiplicity factor or air exchange rate per one person which are determinative values only for cold period and transient conditions. In other words multiplicity factor and air exchange rate do not take into account equipment abundance in modern offices and heat input of the office equipment is rather significant value. The paper contains an analysis and comparison of the existing air exchange rates for the Republic

Адрес для перепискиБорухова Лилия Владимировна
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-97-29
fgv_fes@bntu.by**Address for correspondence**Borukhava Liliya V.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-97-29
fgv_fes@bntu.by

of Belarus, Russian Federation, European countries and USA. Calculation of heat input and air exchange for public building premises during warm season of the year for assimilation of evident heat excess has been made at various orientations of curtain walls. The paper provides structure of heat input into premises. The required rate of air supply volume per one person has been determined on the basis of air exchange and it has been compared with the existing air exchange rate. The required rate averagely exceeds the standard one by 12-fold. But this does not mean that there is necessity to increase the rate in such a way because it entails an increase in capital and operational costs. In this connection the paper reviews variants for improvement of micro-climate in the building premises with large area of translucent structures: automatic regulation of heat transfer in heating appliances during cold period of the year; usage of air conditioning and increase in temperature difference of input and output air during warm period.

Keywords: air exchange, heat input, microclimate, public buildings, translucent structures

For citation: Borukhava L. V., Shybeka A. S. (2017) Determination of Air Exchange in Public Building Premises Having Large Area of Translucent Structures. *Science and Technique*. 16 (2), 125–130. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-125-130 (in Russian)

При обследовании общественных зданий, особенно с большой площадью светопрозрачных конструкций, зачастую можно наблюдать несоответствие требуемых метеорологических условий в помещениях в теплый период года. Это связано не только с недостатками в эксплуатации систем вентиляции, но и с некоторыми особенностями, которые необходимо учитывать при проектировании систем вентиляции.

Основной причиной несоответствия метеорологических условий являются недостаточные расходы приточного и удаляемого воздуха, из-за чего не вся выделяющаяся в помещениях избыточная теплота ассимилируется. Причиной этому может быть следующее: при определении воздухообмена большинства помещений общественных зданий расчет ведется посредством кратности воздухообмена n , $ч^{-1}$, показывающей расход приточного или удаляемого воздуха, который должен поступать или удаляться из помещения в течение часа, отнесен-

ный к внутреннему объему помещения. Зачастую также используют нормативный объем наружного приточного воздуха (норму воздухообмена), который должен подаваться в час для одного сотрудника. Данную величину могут относить к площади пола помещения.

В настоящее время величина кратности воздухообмена для различных помещений общественных зданий нормируется в соответствии с [1]. Значения кратности воздухообмена для рабочих комнат (офисов), использующиеся в практике проектирования Республики Беларусь, а также сравнение с величинами, применяемыми в российской и зарубежной практике, представлены в табл. 1.

Однако приведенная в [1] величина, рассчитанная для холодного периода года, не учитывает возросшую с того времени насыщенность офисов разнообразной оргтехникой: компьютерами, принтерами, копировальными аппаратами и пр.

Таблица 1

Значение нормы воздухообмена для офисов [1–6]
Value of air exchange rate for offices [1–6]

Наименование документа	Норма воздухообмена		Примечание
	м ³ /(ч·чел.)	м ³ /(ч·м ²)	
Общественные здания и помещения административного назначения. Правила проектирования. ТКП 45-3.02-189-2010 (02250) (Республика Беларусь)	20,0	3,3	1. При норме площади на одного сотрудника 6 м ² . 2. Допускается принимать для расчетов 4 м ³ /(ч·м ²)
Общественные здания административного назначения. СНиП 31-05-2003 (Российская Федерация)	20,0	3,3	1. При норме площади на одного сотрудника 6 м ² . 2. Допускается принимать для расчетов 4 м ³ /(ч·м ²)
Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена. СТО НП «АВОК» 2.1-2008 (Российская Федерация)	60,0	10,0	При норме площади на одного сотрудника 6 м ²
Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. ASHRAE Standard 62.1-1999 (США)	36,0	2,6	При норме площади на одного сотрудника 14 м ²
Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. ASHRAE Standard 62.1-2013 (США)	30,6	1,5	При норме площади на одного сотрудника 20 м ²
Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics. EN 15251-2007	36,0–43,0	2,9/3,6	При норме площади на одного сотрудника 15 м ² для больших офисов и 10 м ² – для персональных офисов

Значения теплопоступлений от некоторого офисного оборудования приведены в табл. 2. Как видно из табл. 2, теплопоступления от офисного оборудования довольно значительны, и их необходимо учитывать в тепловом балансе помещения.

Вторая причина – норма воздухообмена – не учитывает теплопоступления от солнечной радиации через заполнение световых проемов, которые для общественных зданий с большой площадью светопрозрачных конструкций значительны. Средние за световой день теплопоступления через световой проем с однокамерным энергосберегающим стеклопакетом в пятикамерном ПВХ-переплете размерами 1×1 м приведены в табл. 3.

В-третьих, в норме воздухообмена не учтен тепловой поток, поступающий от искусственного освещения, которое зачастую продолжает работать и в теплый период года.

В целях установления реального значения нормы воздухообмена был произведен расчет теплопоступлений в помещение офиса размерами 12,5×8 м (площадь 100 м²) и высотой 3 м, расположенного в городе Минске, при различных вариантах ориентации остекления. В офисе работают 16 сотрудников, причем каждый имеет персональный компьютер (число сотрудников определено исходя из нормы площади на

одного сотрудника (6 м²/чел.) в соответствии с табл. Б.3 [8]). Кроме того, имеются офисный копировальный аппарат и лазерный принтер. Вместо наружной стены устроен светопрозрачный фасад из системных профилей, выполненных из алюминия, с заполнением двухкамерным энергосберегающим стеклопакетом (сопротивление теплопередаче фасада $R_{\text{П}} = 1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) размерами 3×1 м. Конструкция межэтажного перекрытия – уложенный на железобетонную многопустотную плиту (толщина 220 мм) дубовый паркет толщиной 25 мм. Перегородки – оштукатуренная кирпичная кладка толщиной в полкирпича. Искусственное освещение в теплый период не работает.

Суммарные теплопоступления ΣQ , Вт, определяли по выражению

$$\Sigma Q = Q_{\text{л}} + Q_{\text{об}} + Q_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{л}}$ – теплопоступления от персонала, Вт, зависящие от количества работников, категории работ и температуры в помещении [9]; $Q_{\text{об}}$ – теплопоступления от офисного оборудования, Вт, с учетом средневзвешенного по площади помещения коэффициента неравномерности 0,46 [7]; $Q_{\text{п}}$ – теплопоступления от солнечной радиации через заполнение светопрозрачного фасада, Вт [9–11].

Таблица 2

Расчетные теплопоступления от некоторого офисного оборудования [7]

Calculated heat input from some office equipment [7]

Наименование офисного оборудования	Расчетное теплопоступление $Q_{\text{об}}$, Вт
Компьютер (с монитором)	110
Настольный лазерный принтер в режиме работы 1 стр./мин	100
Настольный лазерный принтер в режиме простаивания	35
Малый офисный лазерный принтер в режиме работы 1 стр./мин	160
Малый офисный лазерный принтер в режиме простаивания	70
Настольный копировальный аппарат в режиме работы 1 стр./мин	85
Настольный копировальный аппарат в режиме простаивания	20
Офисный копировальный аппарат в режиме работы 1 стр./мин	400
Офисный копировальный аппарат в режиме простаивания	300
Факс в непрерывном режиме работы	30
Факс в режиме простаивания	15
Сканер в непрерывном режиме работы	25
Сканер в режиме простаивания	15

Таблица 3

Средние за световой день теплопоступления от солнечной радиации

Average value of daylight heat input from solar radiation

Наименование величины	Теплопоступление при ориентации остекления							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Средний за световой день тепловой поток через 1 м ² площади проема $q_{\text{п}}^{\text{сп}}$, Вт/м ²	-2,44	5,04	19,38	24,05	17,86	22,09	21,04	5,21

Результаты расчета для различных ориентаций светопрозрачного фасада приведены в табл. 4, сравнение доли каждого вида теплопоступлений в суммарных теплопоступлениях – в табл. 5 и на рис. 1.

Из табл. 4, 5 и рис. 1 видно, что теплопоступления от офисного оборудования составляют значительную часть суммарных теплопоступлений, превышая каждый вид теплопоступлений в отдельности. Учет данной величины весьма важен в расчете воздухообмена помещений.

На основании расчета определен требуемый для ассимиляции избытков теплоты воздухообмен $L_{\text{пр}}$, м³/ч, исходя из уравнения теплового баланса

$$L_{\text{пр}} = \frac{3,6 \sum Q}{c\rho(t_{\text{уд}} - t_{\text{пр}})}, \quad (2)$$

где $c = 1,005$ кДж/(кг·К), $\rho = 1,2$ кг/м³ – удельная изобарная теплоемкость и плотность воздуха соответственно; $t_{\text{уд}}$, $t_{\text{пр}}$ – температура удаляемого и приточного воздуха, °С.

В качестве расчетного принят перепад температур $t_{\text{уд}} - t_{\text{пр}} = 3$ °С.

На основании расчета требуемого для ассимиляции избытков теплоты воздухообмена определена требуемая кратность воздухообмена и проведено ее сравнение с нормативной. Результаты нахождения требуемого воздухообмена и сравнение норм воздухообмена приведены в табл. 6 и на рис. 2.

Как видно из табл. 6, требуемая норма воздухообмена для теплого периода в среднем в 12 раз превышает нормативную. Причины этого следующие:

1) нормы воздухообмена рассчитаны для холодного периода года исходя из выделяющихся от одного человека вредностей, поэтому они не учитывают тепловыделения от офисного оборудования, которые, как видно из табл. 5 и рис. 1, весьма значительны (в данном примере 41 %);

2) норма воздухообмена не учитывает теплопоступления от солнечной радиации, которые в теплый период года могут достигать значительной величины в зависимости от площади светопрозрачных конструкций (в данном примере теплопоступления составляют 30 % общих).

Для решения рассматриваемой проблемы в теплый период года необходимо увеличить норму воздухообмена.

Таблица 4

Суммарные теплопоступления в помещение офиса
Total heat input for office space

Теплопоступление	Величина теплопоступления, Вт, при ориентации фасада							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
От людей $Q_{\text{л}}$	1130							
От оборудования $Q_{\text{об}}$	1633							
Через заполнение светопрозрачного фасада $Q_{\text{п}}$	86	750	1421	1568	1365	1478	1811	1050
Суммарные теплоизбытки $\Sigma Q_{\text{изб}}$	2849	3513	4184	4331	4128	4241	4574	3813

Таблица 5

Средние величины теплопоступлений и доля каждого вида из них в суммарных теплопоступлениях
Average values of heat input and proportion of its each type in total heat input

Теплопоступление	Среднее значение величины теплопоступления, Вт	Доля каждого вида теплопоступления в суммарных теплопоступлениях, %
От людей $Q_{\text{л}}$	1130	29
От оборудования $Q_{\text{об}}$	1633	41
Через заполнение светопрозрачного фасада $Q_{\text{п}}$	1191	30
Суммарные теплоизбытки $\Sigma Q_{\text{изб}}$	3954	100



Рис. 1. Структура теплопоступлений в помещение

Fig. 1. Structure of heat input into office premises

Таблица 6

Сравнение требуемого и нормативного воздухообмена
Comparison of the required and normative air rates

Наименование показателя	Воздухообмен при ориентации фасада								Средняя величина	
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
Требуемый расход воздуха $L_{тр}$, м ³ /ч	2835	3495	4165	4310	4105	4220	4550	3795	3935	
Требуемая норма воздухообмена	$L_{уд}^{тр}$, м ³ /(ч·чел.)	177,2	218,4	260,3	269,4	256,6	263,8	284,4	237,2	245,9
	$L'_{уд}^{тр}$, м ³ /(ч·м ²)	28,4	35,0	41,7	43,1	41,1	42,2	45,5	38,0	39,4
Нормативная норма воздухообмена	$L_{уд}^{норм}$, м ³ /(ч·чел.)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
	$L'_{уд}^{норм}$, м ³ /(ч·м ²)	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Превышение требуемой нормы над нормативной	На одного сотрудника ($m = L_{уд}^{тр} / L_{уд}^{норм}$)	8,9	10,9	13,0	13,5	12,8	13,2	14,2	11,9	12,3
	На 1 м ² ($m = L'_{уд}^{тр} / L'_{уд}^{норм}$)	8,6	10,6	12,6	13,1	12,5	12,8	13,8	11,5	11,9



Рис. 2. Сравнение требуемой и нормативной нормы воздухообмена при различной ориентации фасада: а – на одного сотрудника; б – отнесенная к площади помещения

Fig. 2. Comparison of the required and normative norms of air rates at different orientations of the facade: а – per one worker; б – ascribed to the area of the room

Однако из этого не следует, что ее нужно увеличивать в 12 раз, поскольку это чревато значительными затратами на вентиляционное оборудование (увеличение размеров воздуховодов, более мощные вентиляторы и пр.) и, как следствие, затратами электроэнергии. В таком случае необходимо устройство кондиционирования воздуха помещений для ассимиляции избытков теплоты, не ушедшей с приточным воздухом.

В холодный период года норма воздухообмена в помещении может оставаться прежней. Но в данном случае необходимо предусматривать автоматическую регулировку теплоотдачи отопительных приборов в каждом помещении.

Для снижения нормы воздухообмена также можно предусмотреть уменьшение расчетной разности температур приточного и удаляемого воздуха, в результате чего расход приточного воздуха в соответствии с (2) снизится.

Однако уменьшение температуры приточного воздуха может отрицательно сказаться на метеорологических условиях в помещении и возникновением дискомфорта у персонала. Поэтому данный вопрос должен решаться совместно с выбором рациональной схемы распределения воздуха в помещении и расположением в нем воздухораспределителей.

ВЫВОДЫ

1. Существующая норма воздухообмена для помещений общественных зданий ($20 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{чел.})$) не обеспечивает эффективного воздухообмена для удаления избыточной теплоты в помещении, так как она рассчитана для холодного периода года и не учитывает тепловыделения от офисного оборудования. Требуемый расход воздуха превышает нормативный в среднем в 12 раз.

2. Для холодного периода года кратность может оставаться прежней, однако при проектировании системы отопления необходимо предусмотреть автоматическое регулирование теплоотдачи отопительных приборов.

3. В теплый период года бороться с избыточной теплотой можно двумя способами, причем в любом случае необходимо увеличение кратности воздухообмена (не обязательно в 12 раз, так как это сопряжено с увеличением капитальных и эксплуатационных затрат). Первый способ заключается в применении кондиционирования воздуха для ассимиляции избытков теплоты, второй – в увеличении разности температур удаляемого и приточного воздуха. Реализация второго способа должна решаться с выбором рациональной схемы раздачи приточного воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Общественные здания и помещения административного назначения. Правила проектирования: ТКП 45-3.02-189-2010 (02250). Введ. 01.01.2011. Минск: Минстройархитектуры, 2011. 24 с.
2. Общественные здания административного назначения: СНиП 31-05-2003. Введ. 01.09.2003. М.: Госстрой России, 2006. 22 с.
3. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена: СТО НП «АВОК» 2.1-2008. Введ. 01.06.2004. М.: НП «АВОК», 2008. 16 с.
4. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality: ASHRAE Standard 62.1-1999. Atlanta GA: ASHRAE Inc., 1999. 27 p.
5. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality: ASHRAE Standard 62.1-2013. Atlanta GA: ASHRAE Inc., 2013. 52 p.
6. Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics: EN 15251-2007. Date Approved: 26.03.2007. Brussel: CEN, 2007. 50 p.
7. Wilkins, C. Учет в тепловом балансе теплопоступлений от офисного оборудования / С. Wilkins, М. Hosni // АВОК. 2003. № 3. С. 70-79.
8. Требования при работе с видеодисплейными терминалами и электронно-вычислительными машинами: утв. М-вом здравоохранения Республики Беларусь 28.06.2013 № 59. Минск: Республиканский центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья, 2013. 32 с.
9. Внутренние санитарно-гигиенические устройства: в 3 ч. / В. Н. Богословский [и др.]; под ред. Н. Н. Павлова, Ю. И. Шиллера. М.: Стройиздат, 1992. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1. 319 с.

10. Теплоснабжение и вентиляция / Б. М. Хрусталева [и др.]; под общ. ред. Б. М. Хрусталева. 3-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во АСВ, 2008. 784 с.
11. Расчет поступления теплоты солнечной радиации в помещение: Пособие 2.91 к СНиП 2.04.05-91 / утв. ордена Трудового Красного Знамени арендным предприятием «Промстройпроект» 01.01.1993. М.: Промстройпроект, 1993. 35 с.

Поступила 23.06.2016

Подписана в печать 26.08.2016

Опубликована онлайн 28.03.2017

REFERENCES

1. ТКП 45-3.02-189-2010 (02250). *Public Buildings and Premises for the Purpose of Administration. Design Rules*. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2011. 24 (in Russian).
2. SNiP 31-05-2003 [Construction Rules and Regulations]. *Public Buildings for the Purpose of Administration*. Moscow, State Construction Committee of Russia, 2006. 22 (in Russian).
3. STO NP "AVOK" 2.1-2008 [Company Standard of Non-Commercial Partnership "Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat-Supply and Building Thermal Physics"]. *Residential and Public Buildings. Standards of Air Interchange*. Moscow, Publishing House AVOK, 2008. 16 (in Russian).
4. ASHRAE Standard 62.1-1999. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta GA: ASHRAE Inc., 1999. 27.
5. ASHRAE Standard 62.1-2013. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta GA: ASHRAE Inc., 2013. 52.
6. EN 15251-2007. *Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics*. Brussel, CEN, 2007. 50.
7. Wilkins C., Hosni M. (2003) Thermal Balance Accounting of Heat Inputs from Office Equipment. *AVOK* [Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat-Supply and Building Thermal Physics], (3), P. 70-79 (in Russian).
8. *Requirements for Execution of Works with Video Display Terminals and Electronic Computing Machines*: Approved by Ministry of Health of the Republic of Belarus on 28.06.2013. Minsk: Republican Centre of Hygiene, Epidemiology and Public Health, 2013. 32 (in Russian).
9. Bogoslovskii V. N., Pirumov A. I., Posokhin V. N., Berezina N. I., Dvinyanikov V. V., Egiazarov A. G., Krupnov B. A., Leskov E. A., Fialkovskaya T. A., Shapritskii V. N., Shilkrot E. O., Aleksandrov A. I., Kushelman G. S., Moor L. F., Moshkin V. I., Nevskii V. V., Orlov V. A., Petrov B. S., Pylaev E. N., Pavlov N. N. (ed.), Shiller Yu. I. (ed.) (1992) *Internal Sanitary and Hygienic Devices. Part. 3: Ventilation and Air Conditioning. Book 1*. Moscow, Stroyizdat Publ. 319 (in Russian).
10. Khrustalev B. M., Kuvshinov Yu. Ya., Kopko V. M., Mikhalevich A. A., Dyachek P. I., Pokotilov V. V., Senkevich E. V., Borukhova L. V., Pilyushenko V. P., Bazylenko G. I., Yurkov O. I., Artikhovich V. V., Pshonik M. G. (2008) *Heat Supply and Ventilation. Course and Diploma Design*. 3rd ed. Moscow, ASV Publ. 784 (in Russian).
11. Guide 2.91 to SNiP 2.04.05-91. [Construction Rules and Regulations]. *Input Calculation of Solar Radiation Heat Into Premises*. Moscow, Promstroyproyekt Publ., 1993. 35 (in Russian).

Received: 23.06.2016

Accepted: 26.08.2016

Published online: 28.03.2017