УДК 697.921.23

© Т. А. Дацюк, д-р техн. наук, профессор
© А. М. Гримитлин, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: tdatsuk@mail.ru, grimitlin@avoknw.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-6-182-187

© Т. А. Datsyuk, Dr. Sci. Tech., Professor
© А. М. Grimitlin, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: tdatsuk@mail.ru, grimitlin@avoknw.ru

ВЛИЯНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

THE EFFECT OF THE ENCLOSING STRUCTURE AIR PERMEABILITY VALUE ON THE ENERGY CONSUMPTION OF RESIDENTIAL BUILDING

Для обеспечения параметров микроклимата и определения класса энергосбережения жилых зданий необходимо корректно оценивать на стадии проектирования количество наружного воздуха, поступающее в здание при естественной вентиляции. Расчетное количество воздуха должно учитывать требуемые объемы для обеспечения нормативной кратности воздухообмена жилых помещений и инфильтрационную составляющую, которая зависит от распределения давления. Выполнен расчет количества наружного воздуха, поступающего в здание, по нормативным документам СП 50.13330.2012, СП 54.13330.2016, СП 23-101-2004. Приведены результаты натурных измерений воздухопроницаемости ограждающих конструкций по ГОСТ 31167-2009. Показано влияние воздухопроницаемости ограждающих конструкций на увеличение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.

Ключевые слова: кратность воздухообмена, естественная вентиляция, воздухопроницаемость ограждающих конструкций.

Provision of optimal microclimate and determination of the residential building energy saving class dictates the necessity of correctly evaluating the amount of the incoming ambient air in condition of natural ventilation, which should be done at the stage of planning. At estimating the amount of air, the required volumes of air must be taken into account to provide the normative ventilation rate in residential premises and the infiltration factor which depends on the pressure distribution. The authors demonstrate the results of the calculation of outdoor air amount entering the building in accordance with the regulatory documents SP50.13330-12, SP 54.13330-16, SP 23-1001-2004. Results of the natural measuring of air permeability of the enclosing structures are submitted according to the state standard GOST 31167-2009. The influence of the air permeability value of enclosing structures on the increase of specific energy consumption on heating and ventilation of the building is demonstrated.

Keywords: normative ventilation rate, natural ventilation, air permeability of enclosing structures.

Результаты обследования жилых зданий, построенных в последние годы, выявили фактическое превышение энергопотребления по сравнению с расчетными величинами [1–3]. Одна из причин — заниженная оценка кратности воздухообмена в зданиях с естественной вентиляцией, что также отмечено в работах [4–5]. Для оценки количества наружного воздуха, поступающего в здание при естественной вентиляции, удобно использовать кратность воздухообмена. Сравним нормативные объемы наружного воздуха,

поступающего в здание для вентиляции, по СП 50.13330.2012¹ и СП 54.13330.2016² с результатами натурных экспериментов.

Методика СП 50.13330.2012 оценивает количество приточного воздуха, поступающего в жилое здание по укрупненным показателям, не рассматривая в отдельности кратность воздухообмена отдельных квартир. Удельная вентиляци-

¹ СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. М.: Минрегион России, 2012. 96 с.

² СП 54.13330.2016. Здания жилые многоквартирные. М.: Минрегион России, 2016. 61 с.

онная характеристика здания $k_{\text{вент}}$ определяется по прил. Г СП 50.13330.2012 как

$$k_{\text{вент}} = 0,28 \cdot c \cdot n_a \cdot \beta_v \cdot \rho_a^{\text{ht}} (1 - k_{\text{эф}}), \quad (1)$$

где $c = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ — удельная теплоемкость воздуха; ρ_a^{ht} — плотность наружного воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; β_v — коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций. При отсутствии данных принимают $\beta_v = 0,85$; $k_{\text{эф}}$ — коэффициент эффективности рекуператора ($k_{\text{эф}} = 0$), отличный от нуля только при механической приточно-вытяжной вентиляции; n_a — средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч^{-1} .

Значение $k_{\text{вент}}$ зависит только от принятой кратности воздухообмена, т. е. $k_{\text{вент}} = 0,297 \cdot n_a$.

Средняя кратность воздухообмена жилых зданий на стадии проектирования рассчитывается по СП 50.13330.2012. Учитывается общий воздухообмен за счет вентиляции и инфильтрации в лестничные клетки:

$$n_a = L_{\text{вент}} + L_{\text{инф}} / V, \quad (2)$$

где V — отапливаемый объем здания.

Количество воздуха $L_{\text{вент}}$, поступающего в здание при неорганизованном притоке, рекомендовано определять:

- для жилых зданий с расчетной заселенностью квартир менее 20 м^2 общей площади на человека — $L_{\text{вент}} = 3A_{\text{жил}}$, где $A_{\text{жил}}$ — жилая площадь квартиры;

- для других жилых зданий — $L_{\text{вент}} = 0,35 \cdot h_{\text{эт}} \cdot A_{\text{жил}}$, но не менее $30 \text{ м}^3/\text{ч}$, где m — расчетное число жителей в здании.

Инфильтрация учитывается в лестничные клетки, ориентированные на наветренную сторону, при фактическом перепаде давления³

$$G_{\text{инф}} = (A_{\text{ок}} / R_{\text{ок}}^{\text{тр}})(\Delta P / 10)^{0,67} + (A_{\text{дв}} / R_{\text{дв}}^{\text{тр}})(\Delta P / 10)^{0,5}, \quad (3)$$

где $A_{\text{ок}}, A_{\text{дв}}$ — соответственно суммарная площадь окон, балконных дверей и входных наружных дверей, м^2 ; $R_{\text{ок}}^{\text{тр}}, R_{\text{дв}}^{\text{тр}}$ — соответственно требуемое сопротивление воздухопроницанию окон, балконных дверей и входных наружных дверей, $(\text{м}^3 \cdot \text{ч})/\text{кг}$; $\Delta P_{\text{ок}}, \Delta P_{\text{дв}}$ — соответственно расчетная разность давлений наружного и внутреннего воздуха для окон и дверей, Па.

Согласно СП 54.13330.2016 минимальное количество наружного воздуха, поступающее в здание при естественной вентиляции, рассчитывается на компенсацию обязательной вытяжки из квартир:

- $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ для кухни с электрической плитой;
- $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ для ванной комнаты и туалета, т. е. $110 \text{ м}^3/\text{ч}$ на квартиру.

Ориентируясь на минимальное количество приточного воздуха (компенсация вытяжки $110 \text{ м}^3/\text{ч}$ из каждой квартиры), для 184 квартир в здании (90 % одно- и двухкомнатных квартир) необходимое количество приточного воздуха — $20\,240 \text{ м}^3/\text{ч}$. Кратность воздухообмена n для здания в целом составит соответственно без учета инфильтрации воздуха $0,58 \text{ ч}^{-1}$, с учетом инфильтрации — $0,60 \text{ ч}^{-1}$.

Расчет кратности воздухообмена для 8-этажного здания (184 квартиры) по СП 50.13330.2012 и СП 54.13330.2016 приведен в табл. 1.

Таким образом, количество воздуха, поступающее в здание (кратность воздухообмена с учетом инфильтрации), по СП 50.13330.2012 меньше, чем по СП 54.13330.2016 на 7 % при общей площади на человека менее 20 м^2 и на 30 % при общей площади на человека более 20 м^2 .

Нормативное количество воздуха для вентиляции квартир, которое поступает в здание, по СП 50.13330.2012 и СП 54.13330.2016 приведено в табл. 2. Расчеты выполнены для однокомнатной квартиры площадью 36 м^2 и двухкомнатной площадью 65 м^2 . Воздухообмен по кратности определяется по общему объему квартиры.

Кратность воздухообмена по СП 50.13330.2012 для двухкомнатных квартир при проживании четырех человек меньше на 8 %, а для однокомнатных квартир в 1,7 раза меньше, чем по СП 54.13330.2016.

Проанализируем влияние инфильтрации воздуха, объемы которого зависят от фактического распределения давления у фасадов здания, т. е. от аэродинамического режима застройки.

Количество инфильтрационного воздуха, поступающее в жилые квартиры при отсутствии строительных дефектов, зависит:

- от типа оконных блоков и их герметичности;
- разности давления в квартире и у фасада здания;

³ СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий.

Таблица 1

Результаты расчета кратности воздухообмена для жилого здания

Отапливаемый объем здания, м ³	Общая/жилая площадь здания, м ²	Количество квартир/жильцов	Общая площадь на человека, м ²	Объем воздуха на вентиляцию, м ³ /ч	Объем инфильтрации, м ³ /ч	Кратность воздухообмена для здания, ч ⁻¹
34 620	9616/5942	184/535	18 < 20	17 826 [2]	1456	0,51/0,56
34 620	9616/5942	184/435	22 > 20	13 050 [2]	1456	0,38/0,42
34 620	9616/5942	184	–	20 240 [3]	1456	0,58/0,60

Примечание. В знаменателе кратность воздухообмена с учетом инфильтрации в лестничные клетки.

• качества работы систем вытяжной вентиляции.

Установка современных светопрозрачных конструкций с энергосберегающими стеклами сокращает не только трансмиссионные теплопотери, но и инфильтрационные. Сокращение теплопотерь за счет герметизации светопрозрачных конструкций без дополнительных мероприятий имеет не только положительный эффект, но и ряд негативных последствий, таких как нарушение нормативных требований к качеству воздуха в жилых помещениях, появление плесени и грибковых поражений наружных конструкций, развитие аллергических заболеваний, особенно среди детей. При отсутствии приточных устройств в квартирах с оконными блоками, приток воздуха в помещение в зимний период осуществляется в основном за счет воздухопроницаемости ограждающих конструкций и кратковременного проветривания [6].

Согласно СП 50.13330.2012 воздухопроницаемость ограждающих конструкций при $\Delta P = 10$ Па не должна превышать нормативных значений: для стен и перекрытий — $0,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, для оконных блоков (ПВХ) — $5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, для дверей

квартир — $1,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Нормативная воздухопроницаемость светопрозрачных конструкций в 10 раз выше, чем для наружных стен. Следовательно, основная часть «чистого» приточного воздуха поступает в квартиры через неплотности оконных и дверных блоков [6].

Обобщение результатов испытаний оконных блоков на воздухопроницаемость, выполненных в ИЦ СПбГАСУ, показало, что через оконные блоки, которые наиболее часто используются в строительстве типовых зданий, в помещение при $\Delta P = 10$ Па поступает не более $2\text{--}3 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ наружного воздуха, что соответствует нормативным требованиям по воздухопроницаемости конструкций их ПВХ профиля⁴. При установке оконных блоков более высокого класса количество инфильтрационного воздуха ниже и определяется по результатам испытаний. На рис. 1 приведен массовый расход воздуха для оконного блока, воздухопроницаемость которого соответствует классу Б. В реальных условиях количество приточного воздуха, которое поступает в поме-

⁴ ГОСТ 26602.2–99. Блоки оконные и дверные. Методы определения воздухо- и водопроницаемости ограждающих конструкций в натурных условиях. М., 2000.

Таблица 2

Результаты расчета кратности воздухообмена без учета инфильтрации*

Площадь квартиры, м ² , общая/жилая	Количество жителей	Объем квартиры, м ³	Объем воздуха, м ³ /ч, по СП 50.13330.2012	Объем воздуха, м ³ /ч, по СП 54.13330.2016
Однокомнатная, 36/18	1	96	30/0,31	110/1,14
Однокомнатная, 36/18	2	96	54/0,56	110/1,14
Двухкомнатная, 65/34	2	172	60/0,35	110/0,64
Двухкомнатная, 65/34	4	172	102/0,59	110/0,64

Примечание. В знаменателе приведена кратность воздухообмена.

* СП 54.13330.2016. Здания жилые многоквартирные.

Рис. 1. Воздухопроницаемость оконного блока (класс Б) по результатам испытаний ($G_o = 2 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; $P_o = 10 \text{ Па}$)

щение, зависит от перепада давления внутреннего и наружного воздуха.

Расчетное количество воздуха, поступающее в однокомнатную квартиру площадью 36 м^2 , объемом 96 м^3 , имеющую два оконных блока площадью $5,2 \text{ м}^2$ за счет воздухопроницаемости, приведено в табл. 3.

Кратность воздухообмена за счет воздухопроницаемости при разности давления $\Delta P = 10 \text{ Па}$ наружных ограждающих конструкций для однокомнатной квартиры составит $n = 0,3 \text{ ч}^{-1}$. Таким образом, кратность воздухообмена для однокомнатной квартиры при проживании 1 человека по СП 50.13330.2012 обеспечивается за счет нормативных значений воздухопроницаемости наружных конструкций при $\Delta P = 10 \text{ Па}$ (см. табл. 2).

Для проверки расчетных положений нормативных документов СП 50.13330.2012

и СП 54.13330.2016 были проведены натурные испытания воздухопроницаемости ограждающих конструкций жилого здания по ГОСТ 31167–2009⁵. Натурные испытания проводились в однокомнатной квартире объемом 97 м^3 в 8-этажном здании. При проведении испытаний кратность воздухообмена была обеспечена в соответствии с диапазоном «нормальная» (СП 50.13330.2012), табл. Д. 1 ГОСТ 31167–2009, табл. 19 СП 23-101–2004⁶, т. е. кратность воздухообмена за счет инфильтрационного воздуха, поступающего в квартиру с естественной вентиляцией при разности давления $\Delta P = 50 \text{ Па}$, соответствовала диапазону $2 < n_{50} < 4 \text{ ч}^{-1}$. При значениях $n_{50} < 2$ рекомендуется установка дополнительных вентиляционных устройств. Результаты натурных испытаний приведены на рис. 2.

Полученная зависимость (см. рис. 2) используется для определения расхода воздуха через ограждающие конструкции Q_{10} при $\Delta P = 10 \text{ Па}$ и определения кратности воздухообмена испытываемого объекта Q_{50} при $\Delta P = 50 \text{ Па}$.

Результаты натурных испытаний воздухопроницаемости квартиры приведены в табл. 4.

Таким образом, если фактическая кратность воздухообмена при разности давления $\Delta P = 50 \text{ Па}$ соответствует классу «нормальный», то при разности давления $\Delta P = 10 \text{ Па}$ (см. рис. 2) в квартиру поступает $125 \text{ м}^3/\text{ч}$ наружного воздуха (кратность воздухообмена $n_{10} = 1,29 \text{ ч}^{-1}$), что в 4 раза выше значений, рас-

⁵ ГОСТ 31167–2009. Здания и сооружения. Методы определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций в натурных условиях. М.: Стандартинформ, 2011. 16 с.

⁶ СП 23-101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий. М., 2004.

Таблица 3

Объем воздуха, поступающего в однокомнатную квартиру площадью 36 м^2 за счет воздухопроницаемости наружных конструкций по нормативным значениям СП 50.13330.2012

Конструкция	Площадь конструкций, м^2	Нормативная воздухопроницаемость, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Количество наружного воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$
Оконный блок 2 шт.	5,2	5	21,7
Входная дверь	2,0	1,5	2,5
Стена наружная	12,0	0,5	5,0
Итого	19,2		29,2

Примечание. Кратность воздухообмена за счет инфильтрации составит $n = 0,3 \text{ ч}^{-1}$ (без учета воздухопроницаемости внутренних конструкций).

Рис. 2. Результаты натурных испытаний на воздухопроницаемость ограждающих конструкций однокомнатной квартиры

считанных по нормативной воздухопроницаемости⁷ (см. табл. 3).

Сравнительные расчеты кратности воздухообмена с использованием нормативных доку-

⁷ СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий.

ментов СП 50.13330.2012, СП 54.13330.2016 и натурных испытаний по ГОСТ 31167–2009 приведены в табл. 5.

Выводы

Несоответствие нормативных документов относительно оценки количества наружного воздуха, поступающего в здание при естественной вентиляции, не позволяет на стадии проектирования жилых зданий корректно оценить величину удельной вентиляционной характеристики здания и расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.

Если воздухопроницаемость конструкций здания относится к классу «нормальный», то количество наружного воздуха, поступающего в здание, выше на 38 % по сравнению с расчетной величиной по СП 50.13330.2012 и на 15 % при расчете по СП 54.13330.2016. Удельное теплосодержание здания увеличивается на 31 %.

При учете инфильтрации в лестничные клетки и окна здания при разности давления $\Delta P = 10$ Па удельное энергопотребление здания увеличивается:

Таблица 4

Результаты натурных испытаний воздухопроницаемости однокомнатной квартиры

Объем воздуха, м³/ч		Кратность воздухообмена, ч ⁻¹		Класс ^{*,**,*}
$\Delta P = 50$ Па	$\Delta P = 10$ Па	$\Delta P = 50$ Па	$\Delta P = 10$ Па	$\Delta P = 50$ Па
238	125	2,91	1,29	Нормальный

* СП 54.13330.2016. Здания жилые многоквартирные.

** СП 23-101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий.

*** ГОСТ 26602.2–99. Блоки оконные и дверные. Методы определения воздухо- и водопроницаемости ограждающих конструкций в натуральных условиях.

Таблица 5

Результаты сравнения натурных испытаний воздухопроницаемости и расчетных значений по СП 50.13330.2012, СП 54.13330.2016 и СП 23-101–2004

Источник	Кратность воздухообмена, по квартире, ч ⁻¹	Кратность воздухообмена по зданию, ч ⁻¹	Удельное потребление здания $q^{рас}$, Вт/(м³ · °С)	Процент отклонения от $q^{тр} = 0,319$
СП 50.13330.2012 $S_{общ} > 20$ м³/чел.	0,31	0,42	0,202	–37 % (класс В)
		0,54*	0,243	–24 % (класс В)
СП 50.13330.2012 $S_{общ} < 20$ м³/чел.	0,56	0,56	0,240	–25 % (класс В)
		0,64*	0,278	–13 % (класс В)
СП 54.13330.2016 ($L = 110$ м³/ч)	1,14	0,58	0,257	–19 % (класс В)
		0,74*	0,313	–2 % (класс С)
Эксперимент, $\Delta P = 10$ Па	1,29	0,68	0,292	–8 % (класс С+)

* Примечание. Значения кратности воздухообмена по зданию с учетом инфильтрации в лестничные клетки и окна здания при разности давления $\Delta P = 10$ Па.

- при расчете по СП 50.13330.2012 на 25 % в пределах класса энергосбережения В;
- при расчете по СП 54.13330.2016 на 17 % с понижением класса энергосбережения.

Библиографический список

1. Лифчак В. И. Фактическое теплотребление зданий как показатель качества и надежности проектирования // АВОК. 2009. № 2. С. 4–13.
2. Малявина Е. Г. Теплотери здания: справочное пособие. М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. 144 с.
3. Duan S., Zhang G., Jianguo P. et al. Development in research of natural ventilation // Heating Ventilating and Air Conditioning. 2004. Vol. 34, no. 3. Pp. 22–28.
4. Куриленко Н. И., Давлятчин Р. Р., Шалагин И. Ю. Воздухопроницаемость как составляющая удельного расхода на отопление и вентиляцию зданий // Сб. междунар. науч.-практ. конф. 15.04.2014. Т. 2. Тюмень: ТюмГАСУ, 2014.
5. Yin W. Potential estimation and energy efficient evaluation of natural ventilation in building [Dissertation]. Hunan University, 2009.
6. Дацюк Т. А. Оценка эффективности естественной вентиляции жилых зданий // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2014. № 1 (январь). С. 112–115.

References

1. Lifchak V. I. *Fakticheskoe teplopotreblenie zdaniy kak pokazatel' kachestva i nadezhnosti proektirovaniya* [Net heat consumption of buildings as indicator of the design quality and reliability]. AVOK, 2009, no. 2, pp. 4–13.
2. Malyavina E. G. *Teplopoteri zdaniya. Spravochnoe posobie* [Heat loss of the building. Reference manual]. Moscow, AVOK-PRESS Publ., 2007, 144 p.
3. Duan S., et al. Development in research of natural ventilation. *Heating Ventilating and Air Conditioning*, 2004, vol. 34, no. 3, pp. 22–28.
4. Kurilenko N. I., Davlyatchin R. R., Shalagin I. Yu. *Vozdukhopronitsaemost' kak sostavlyayushchaya udel'nogo rashhoda na otoplenie i ventilyatsiyu zdaniy* [Air permeability as a component of the specific expense on heating and ventilation of buildings]. *Trudy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 15.04.2014* [Proc. of the int. – pract. conf. 15.04.2014]. Vol. 2. Tyumen, TyumGASU Publ., 2014.
5. Yin W. *Potential estimation and energy efficient evaluation of natural ventilation in building. Dissertation*. Hunan University, 2009.
6. Datsyuk T. A. *Otsenka ehffektivnosti estestvennoy ventilyatsii zhilykh zdaniy* [Evaluation of the effectiveness of natural ventilation in residential buildings]. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie – Plumbing, heating, air conditioning*, 2014, no. 1 (January), pp. 112–115.