

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-306-313>

УДК 697.92

Нормирование воздухообмена в помещениях и энергоэффективность жилых зданий

Канд. техн. наук, доц. Л. В. Борухова¹⁾, А. С. Шибeko¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Политика энергосбережения, проводимая во всем мире и в Беларуси в частности, ведет к пересмотру технических нормативно-правовых актов по теплозащите зданий. Постепенное увеличение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций снижает трансмиссионные потери теплоты, однако затраты на нагрев инфильтрующегося воздуха остаются неизменными, ввиду чего их доля в общем тепловом балансе жилых зданий постепенно растет: до тепловой реабилитации здания доля составляет 30 %, после – 53 %. Для поиска способов снижения потерь теплоты с вентиляционным воздухом рассмотрено происхождение текущей нормы приточного воздуха, которая составляет 3 м³/ч на 1 м² жилой площади. Показано, что данная величина определена исходя из требуемого для ассимиляции углекислого газа воздухообмена и нормы жилой площади на одного человека. В связи с улучшением жилищных условий населения и увеличением обеспеченности жилой площадью требуемый воздухообмен может быть уменьшен до 1,5 м³/(ч·м²). Расчеты показывают, что данное снижение ведет к увеличению класса по энергоэффективности здания и уменьшению доли потерь теплоты на нагревание приточного воздуха в общем балансе теплоты. Также показано, что рациональным размещением по сторонам света можно добиться снижения удельного показателя расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого здания. Одновременно с определением расхода приточного воздуха было рассмотрено определение расхода вытяжного воздуха для кухонь. Установлено, что для поддержания процесса горения и удаления продуктов сгорания расход удаляемого воздуха должен составлять 10–20 м³/ч в зависимости от типа газовой плиты. Ввиду того что окна не могут поддерживать ни предлагаемый, ни тем более действующий воздухообмен, они должны обязательно комплектоваться приточными клапанами.

Ключевые слова: воздухообмен, инфильтрация, теплопотери, жилые здания, энергоэффективность, класс энергоэффективности

Для цитирования: Борухова, Л. В. Нормирование воздухообмена в помещениях и энергоэффективность жилых зданий / Л. В. Борухова, А. С. Шибeko // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 4. С. 306–313. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-306-313>

Introduction of Norms for Air Exchange in Rooms and Energy Efficiency of Residential Buildings

L. V. Borukhava¹⁾, A. S. Shybeka¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Energy saving policy conducted all over the world and in Belarus, particularly, leads to revision of technical standard and legal acts on thermal protection of buildings. Gradual increase of resistance to heat transfer of enclosing structures reduces transmission heat losses however expenses on infiltration air heating remain unchangeable. Due to this their portion in overall heat balance of residential buildings is gradually increasing: up to thermal rehabilitation of a building the portion constitutes 30 %, after this process the portion is equal to 53 %. In order to find methods for reduction of heat losses the paper considers an origin of the current standard for inlet air which is equal to 3 m³/h per 1 m² of residential area. It has been shown that the given value has been determined on the assumption of air exchange which is required for assimilation of carbon dioxide

Адрес для переписки

Шибeko Александр Сергеевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220014, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-97-29
tg_v_fes@bntu.by

Address for correspondence

Shybeka Aleksandr S.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220014, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-97-29
tg_v_fes@bntu.by

and residential area standard per one person. The required air exchange can be reduced up to $1.5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ due to improvement of population living conditions and increase in provision of residential area. Calculations have also shown that the given reduction makes it possible to enhance energy efficiency class of a building and decrease portion of heat losses on heating inlet air in overall heat balance. The paper has also revealed that rational light location on both sides permits to reduce a specific index of heat energy consumption for heating and ventilation of a residential building. Determination of outlet air consumption for kitchens has been considered simultaneously with determination of inlet air consumption. It has been ascertained that in order to support combustion process and removal of combustion products consumption of outlet air must constitute $10\text{--}20 \text{ m}^3/\text{h}$ according to type of gas stove. Due to the fact that windows can not support the proposed and existing air exchanges they must be completed with plenum valves.

Keywords: air exchange, infiltration, heat losses, residential buildings, energy efficiency, energy efficiency class

For citation: Borukhava L. V., Shybeka A. S. (2018) Introduction of Norms for Air Exchange in Rooms and Energy Efficiency of Residential Buildings. *Science and Technique*. 17 (4), 306–313. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-306-313> (in Russian)

Основная проблема при проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха – низкая санитарно-гигиеническая эффективность систем при больших капитальных вложениях и энергозатратах.

С 1990-х гг. в Республике Беларусь проводится целенаправленная политика по снижению расхода тепловой и электрической энергии при эксплуатации зданий. С 1994 г. в несколько раз увеличено сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций, поэтому доля затрат на отопление снизилась, и дальнейшее увеличение уже не приводит к значительным снижениям энергозатрат без больших капитальных вложений. В связи с этим доля затрат на системы вентиляции и кондиционирования воздуха в структуре энергопотребления здания значительно возросла и имеет главное значение.

При проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха зданий необходимо стремиться к снижению воздухообменов и затрат энергоресурсов на данные системы при обеспечении требуемых параметров микроклимата в помещениях.

Исследования, проведенные во многих странах, в том числе и в Беларуси [1], показывают, что для зданий без тепловой модернизации 42 % потерь теплоты происходит через стены, 7 % – через крышу, 5 % – через подвал, 16 % – через окна. На системы вентиляции приходится до 30 %. После утепления на крышу по-прежнему остается около 7 % теплопотерь, доля же стен уже значительно меньше – примерно 19 %. Доля подвала – на том же уровне, доля теплопотерь через окна вместо прежних 16 % составляет 14 %. А вот доля систем вентиляции теперь 53 %. Очевидно, решая

вопросы энергосбережения, следует работать в области создания более эффективных систем вентиляции зданий, т. е. использовать ту тепловую энергию, которая непозволительно щедро выбрасывается этими системами в атмосферу.

Повышение энергоэффективности зданий является одной из главных целей энергетической политики в республике.

В настоящее время снижение энергозатрат при эксплуатации жилых зданий достигается комплексом организационно-технических мероприятий:

- 1) утеплением оболочки здания;
- 2) оптимизацией архитектурно-планировочных решений и гармонизацией здания с особенностями климата района строительства, включающих выбор формы и ориентации здания, а также остекления с целью оптимального использования в тепловом и воздушном балансе положительного воздействия наружного климата и нейтрализации его неблагоприятного воздействия;
- 3) утилизацией теплоты вторичных энергетических ресурсов;
- 4) использованием энергии возобновляемых источников;
- 5) оптимизацией систем энергоснабжения, которая включает в себя:
 - совершенствование нормативной базы, методик расчета теплопоступлений через остекление за счет солнечной радиации;
 - выбор светотехнических характеристик светопрозрачных конструкций и подбор оптимальных размеров конструктивных солнцезащитных устройств;
 - теоретически обоснованные методы при определении нормативной кратности воздухообмена в помещениях;

– научно обоснованные санитарно-гигиенические нормы наружного воздуха на человека; рациональные схемы организации воздухообмена и эффективного воздухораспределения в помещениях;

– применение комбинированных систем вентиляции: естественной и механической, при минимизации или отсутствии системы кондиционирования воздуха;

б) установкой энергосберегающего оборудования и др.

В современном жилом доме большую часть суммарных расчетных тепловых потерь составляют потери на нагрев инфильтрующегося в помещение воздуха. Для жилого 9-этажного дома основные и добавочные (трансмиссионные) тепловые потери через ограждающие конструкции составляют около 40 %, на нагрев приточного воздуха – 60 % (сопротивления теплопередаче приняты равными нормативным). Сравнение доли каждого вида потерь теплоты в зависимости от требований по теплозащите, согласно ТНПА, при нормативных (для [5] – требуемых) значениях сопротивления теплопередаче приведено на рис. 1.

Анализируя диаграммы, можно заметить, что доля потерь теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха росла, так как при этом уменьшалась величина трансмиссионных тепловых потерь из-за ужесточения норм по теплозащите (увели-

чение нормативного сопротивления теплопередаче).

Поэтому с точки зрения энергоэффективности существуют различные подходы для уменьшения тепловых потерь на нагрев приточного воздуха. Первый подход заключается в проектировании централизованной приточно-вытяжной вентиляции в жилых зданиях, что приводит к увеличению капитальных (стоимость вентиляционного оборудования, воздуховодов и их устройству) и эксплуатационных (электроэнергия для привода вентиляторов) затрат.

В настоящее время жилые здания в Республике Беларусь в большинстве случаев оборудованы естественной системой вентиляции: приток – неорганизованный через неплотности в ограждениях, вытяжка – канальная (каналы в стенах, приставные каналы, унифицированные вентиляционные блоки). Рассмотрим, можно ли сократить затраты тепловой энергии на нагрев инфильтрующегося воздуха без применения централизованных систем вентиляции.

Для начала необходимо поставить под сомнение существующую величину нормативного воздухообмена в жилых зданиях [6, 7] – 3 м³/ч на 1 м² площади пола жилой комнаты. Данная величина рассчитана на основании исследований немецкого гигиениста Карла Флюгге (1847–1923 гг.) и определяется исходя из расхода воздуха, который требуется для ассимиляции углекислого газа.

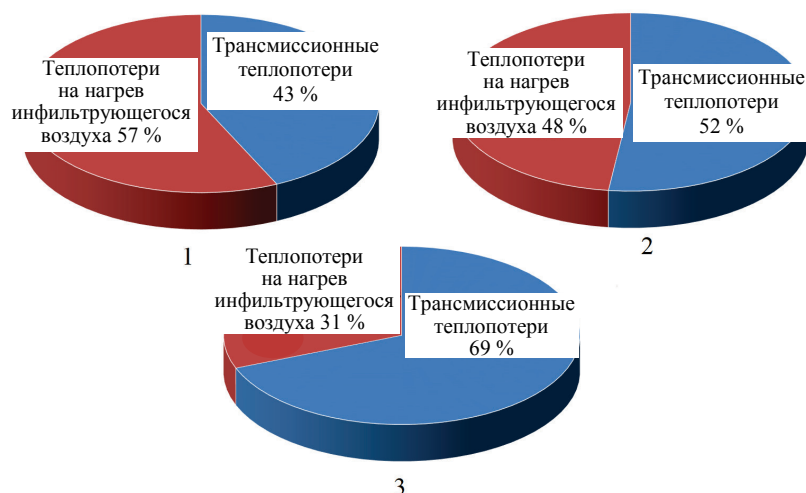


Рис. 1. Структура энергопотребления жилого здания согласно:

1 – действующим нормативам по теплозащите [2]; 2 – [3, 4]; 3 – [5]

Fig. 1. Structure of energy consumption for residential building according to:

1 – current standards for thermal protection [2]; 2 – [3, 4]; 3 – [5]

В общем виде формула для определения данного расхода имеет вид

$$L = \frac{m_{\text{CO}_2}}{q_{\text{уд}} - q_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

где m_{CO_2} – количество углекислого газа, выделяемое одним человеком, г/ч, зависящее от категории работ (табл. 1); $q_{\text{уд}}$, $q_{\text{пр}}$ – концентрации CO_2 в удаляемом и приточном воздухе соответственно, г/м³.

К. Флюгге [9] принял, что выделение углекислого газа одним человеком составляет 21,6 л/ч (40 г/ч), концентрация углекислого газа в наружном воздухе 0,04 % (0,73 г/м³), а допустимая концентрация в жилой комнате 0,01 % (1,83 г/м³). Тогда требуемый расход воздуха: $40/(1,83 - 0,73) = 36$ м³/ч на человека. Исходя из нормы площади на одного человека в СССР (12 м²), получаем $36/12 = 3$ м³/(ч·м²), т. е. существующую норму приточного воздуха для жилых зданий.

Таблица 1
Выделение CO_2 одним человеком [8]
 CO_2 release by one person [8]

Категория работы	Выделение CO_2 , г/(ч·чел.)
Состояние покоя	40
Легкая работа	45
Работа средней тяжести	60
Тяжелая работа	90

Следует отметить, что в нормативных документах Республики Беларусь не приводятся требования к содержанию двуокиси углерода во внутреннем воздухе. Поэтому будем опираться на западные и российские нормативы.

Согласно исследованиям западных ученых, которые вошли [10, 11], предъявляются следующие требования к концентрации углекислого газа во внутреннем воздухе: допустимо приемлемое содержание 1000 ppm (частей на миллион), или 0,1 % (1,83 г/м³). Содержание CO_2 в наружном воздухе согласно российским нормативам приведены в табл. 2.

Исходя из данных табл. 2, получен требуемый расход воздуха на одного человека (табл. 3). Как видно из табл. 3, для сельской местности расходы совпадают, для малых городов практически совпадают, для больших городов расходятся на 20 %. Нормы НП «АВОК» (табл. 2 [13]) рекомендуют минимальный воздухообмен для жилой зоны 30 м³/ч на одного человека. Исходя из

данных табл. 3, с достаточной степенью точности можно принять расход воздуха 40 м³/(ч·чел.), как удовлетворяющий требованиям для удаления углекислого газа.

Таблица 2

**Концентрация двуокиси углерода
в наружном воздухе [12, 13]**

Concentration of carbon dioxide in outdoor air [12, 13]

Тип местности	Концентрация CO_2 , г/м ³ (ppm), согласно	
	ГОСТ Р ЕН 13779	СТО НП «АВОК» 2.1–2008
Сельская	0,64 (350)	0,65 (355)
Малые города	0,73 (400)	0,80 (437)
Большие города	0,82 (450)	1,00 (546)

Таблица 3

**Требуемый воздухообмен
для удаления углекислого газа**

Required air exchange for removing carbon dioxide

Тип местности	Требуемый воздухообмен $L_{\text{тр}}$, м ³ /(ч·чел.), согласно	
	ГОСТ Р ЕН 13779	СТО НП «АВОК» 2.1–2008
Сельская	34	34
Малые города	36	39
Большие города	40	48

Однако сегодня в Республике Беларусь на одного человека не приходится 12 м² жилой площади. Согласно данным Статистического ежегодника [14], жилая площадь с 1990 по 2016 г. возросла с 182,4 до 254,4 млн м², а обеспеченность – с 17,9 до 26,8 м² на жителя. Таким образом, нормативный расход воздуха должен составлять $40/26,8 \approx 1,5$ м³/ч на 1 м² жилой площади, т. е. снизиться в два раза. Это повлечет и уменьшение расхода теплоты на отопление.

Для количественного сравнения произведем расчет класса жилого здания по показателю удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде согласно ТКП 45-2.04-0196–2010* [15]. В качестве примера рассмотрим панельное 9-этажное здание с широтной ориентацией фасадов, расположенное в г. Минске. Главный фасад ориентирован на север. Прочие данные для расчета приведены в табл. 4.

Производя расчет для данного здания, было установлено, что при нормативном воздухообмене 3 м³/ч на 1 м² жилой площади показатель удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде состав-

вит $q_e^{des} = 161,8$ МДж/м², что соответствует классу В (для 9-этажного здания значение показателя для класса В должно быть 108–173 МДж/м²), а при нормативном воздухообмене 1,5 м³/(ч·м²) – $q_e^{des} = 93,6$ МДж/м², что соотносится с классом А (86–108 МДж/м²). Таким образом, без применения каких-либо дополнительных вентиляционных агрегатов и изменения конструкций здания произошло уменьшение показателя удельного расхода в 1,7 раза. Для прочих ориентаций главного фасада значения показателя q_e^{des} приведены в табл. 5. Соотношение расчетных теплотерь для данного здания, полученное согласно [7], показано на рис. 2.

Анализируя значения в табл. 5, можно заметить, что добиться снижения расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания

также возможно за счет рационального размещения здания по сторонам света.

В связи с вышеизложенным, необходимо определить выполнение нормы по удалению воздуха. СНБ 3.02.04–03* [6] дает двойкий подход к определению расчетного воздухообмена: для жилых комнат – 3 м³/ч на 1 м² пола, который учитывается в тепловом балансе; для кухонь, санузлов, ванных – от 110 до 140 м³/ч (из санузла и ванной должно удаляться по 25 м³/ч, расход удаляемого воздуха для кухни зависит от типа плиты и составляет 60 м³/ч для электрических и газовых двухконфорочных плит, 75 м³/ч – для газовых трехконфорочных плит, 90 м³/ч – для газовых четырехконфорочных плит), который учитывается при расчете вентиляции. Как отмечено в п. 4.2 [16], данное различие не имеет физического обоснования.

Таблица 4

Исходные данные для расчета

Input data for calculation

Показатель		Фактическое значение
Город строительства		Минск
Расчетная температура внутреннего воздуха t_{int} , °С		18
Расчетная температура воздуха в техническом подполье t_c , °С		5
Расчетная температура наружного воздуха t_{ext} , °С		–24
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период t_{ht} , °С		–0,9
Продолжительность отопительного периода Z_{ht} , сут.		198
Средняя скорость ветра за отопительный период v_{ht} , м/с		3,0
Наружные двери	общая площадь A_{ed} , м ²	5,04
	приведенное сопротивление теплопередаче R'_{ed} , м ² ·К/Вт	0,48
Окна	общая площадь A_F , м ²	349,74
	в том числе:	
	ориентированных на юг A_F^S , м ²	213,12
	ориентированных на север A_F^N , м ²	136,62
	приведенное сопротивление теплопередаче R'_F , м ² ·К/Вт	1,00
Наружные стены	общая площадь A_W , м ²	1898,70
	приведенное сопротивление теплопередаче R'_W , м ² ·К/Вт	3,20
Чердачное перекрытие	общая площадь A_c , м ²	334,96
	приведенное сопротивление теплопередаче R'_c , м ² ·К/Вт	6,00
Перекрытие над техническим подпольем ($n = 0,31$)	общая площадь A_f , м ²	334,96
	приведенное сопротивление теплопередаче R'_f , м ² ·К/Вт	1,87
Общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций A_e^{sum} , м ²		2923,40
Площадь жилых помещений A_l , м ²		1332,72
Площадь кухонь A_k , м ²		424,08
Отапливаемая площадь A_h , м ²		2976,24
Отапливаемый объем V_h , м ³		8943,40

Таблица 5

Показатель удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде при различных ориентациях главного фасада

Specific consumption index of thermal energy for heating and ventilation during heating season at various orientations of main facade

Ориентация фасада	Значение q_e^{des} при норме воздухообмена, $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$	
	3,0	1,5
С	161,8	93,6
СВ	164,3	96,2
В	168,2	100,0
ЮВ	168,4	100,3
Ю	167,0	98,8
ЮЗ	168,1	99,9
З	168,3	100,1
СЗ	164,9	96,7

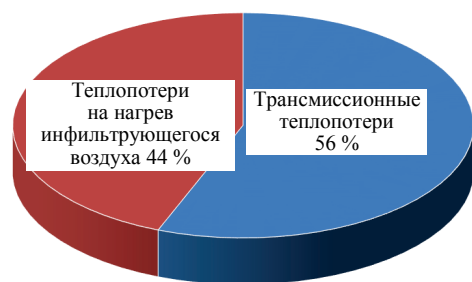


Рис. 2. Структура теплопотерь жилого здания при норме воздухообмена $1,5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$

Fig 2. Structure of heat losses for residential building with air exchange rate $1.5 \text{ м}^3/(\text{h} \cdot \text{м}^2)$

Не рассматривая определение воздухообмена ванных и санузла, определим требуемый воздухообмен для кухонь с газовыми плитами, сжигающих природный или сжиженный газ. Так как все районы Республики Беларусь газифицированы, то рассмотрим необходимое ко-

личество воздуха для поддержания горения, которое и будет минимальной нормой притока на кухню. Состав природного газа, транспортируемого по газопроводу «Торжок – Минск – Ивацевичи», приведен в табл. 6.

Рассчитав по известным формулам [8], получим, что расход воздуха, необходимый для горения 1 м^3 газа, составляет $L_d = 10,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Тепловая мощность газовых плит в соответствии с [18] следующая: двухконфорочных – 7,2 кВт, трехконфорочных – 9,3–10,2 кВт, четырехконфорочных – 12,4–13,3 кВт. Результаты расчетов по определению расхода газа плитами и требуемого расхода воздуха для поддержания горения приведены в табл. 7.

Минимальный расход вытяжного воздуха будет равен расходу удаляемых продуктов сгорания. Расход газов, образующихся при сгорании 1 м^3 природного газа, составит $11,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Значения расхода удаляемого воздуха приведены в табл. 7.

Как видно из табл. 7, расход удаляемого воздуха превышает требуемый расход приточного воздуха. На основании данных расчета, можно принять следующие минимальные значения воздухообмена: для кухонь с двухконфорочными газовыми плитами – $10 \text{ м}^3/\text{ч}$, с трехконфорочными – $15 \text{ м}^3/\text{ч}$ и с четырехконфорочными – $20 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Окна не могут обеспечить предлагаемый нормативный приток воздуха ($1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 жилой площади), а тем более действующий ($3 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$), так как их нормативная воздухопроницаемость (согласно [1] – $10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) рассчитана на самые неблагоприятные условия (при температуре холодной пятидневки и максимальной из средних скоростей ветра по румбам в январе). Для обеспечения требуемого воздухообмена окна в обязательном порядке должны комплектоваться приточными клапанами.

Таблица 6

Состав природного газа [17]

Composition of natural gas [17]

Наименование газа	Содержание, % по объему	Наименование газа	Содержание, % по объему
Метан CH_4	97,756	Пентан C_5H_{12}	0,019
Этан C_2H_6	0,826	Углекислый газ CO_2	0,030
Пропан C_3H_8	0,254	Кислород O_2	0,070
Бутан C_4H_{10}	0,103	Азот N_2	0,942
Примечание. Низшая теплота сгорания $Q_n = 35922 \text{ кДж}/\text{м}^3$.			

Расчетные расходы газа плитами и требуемый расход воздуха для горения
Calculated gas consumption by gas stoves and required air consumption for combustion

Тип плиты	Расход газа, м ³ /ч	Требуемый расход воздуха для горения (минимальный расход приточного воздуха), м ³ /ч	Расход продуктов сгорания (минимальный расход удаляемого воздуха), м ³ /ч
Двухконфорочная	0,72	7,6	8,3
Трехконфорочная	0,93–1,02	9,8–10,7	10,7–11,7
Четырехконфорочная	1,24–1,33	13,0–14,0	14,3–15,3

ВЫВОДЫ

1. В современных зданиях основные потери теплоты происходят с удаляемым вентиляционным воздухом (согласно данным расчета, до 57 %). Это связано с увеличением сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и неизменностью нормативного расхода приточного воздуха.

2. Существующая норма воздухообмена для помещений жилых зданий (3,0 м³/ч на 1 м² жилой площади) завышена для современных условий эксплуатации жилых зданий и завышает теплотери здания. В нынешних условиях значение нормы рационально принять равным 1,5 м³/(ч·м²). При этом удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде значительно уменьшается (для здания, рассчитанного в статье, – в 1,7 раза) и не потребуется устройство приточно-вытяжной механической системы вентиляции.

3. Добиться снижения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде можно посредством рационального размещения здания по сторонам света.

4. Минимальный расход вытяжного воздуха для кухонь с газовыми плитами, рассчитанный исходя из поддержания горения и удаления продуктов сгорания, должен составлять: 10 м³/ч – для двухконфорочных, 15 м³/ч – для трехконфорочных и 20 м³/ч – для четырехконфорочных плит.

5. Для обеспечения требуемого воздухообмена в жилых зданиях окна должны комплектоваться приточными клапанами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пилипенко, В. М. Комплексная реконструкция индустриальной жилой застройки: организационно-техно-

логические основы / В. М. Пилипенко. Минск: Адукацыя і выхаванне, 2007. 280 с.

2. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006* (02250). Взамен СНБ 2.04.01-96; введ. 01.07.2007. Минск: Минстройархитектуры, 2015. 47 с.
3. Строительная теплотехника: СНБ 2.04.01-97. Взамен СНБ 2.01.01-93; введ. 01.05.1998. Минск: Минстройархитектуры, 1998. 32 с.
4. Строительная теплотехника: СНБ 2.01.01-93. Введ. 01.01.1994 (с отменой на территории РБ СНиП II-3-79**). Минск: Госкомитет Респ. Беларусь по архит. и стр-ву, 1994. 29 с.
5. Строительная теплотехника: СНиП II-3-79**. Взамен главы СНиП II-A.7-71; введ. 01.07.1979. М. ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 32 с.
6. Жилые здания: СНБ 3.02.04-03*. Взамен СНиП 2.08.01-89; введ. 01.01.2004. Минск: Минстройархитектуры, 2016. 23 с.
7. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01-03*. Введ. 01.01.2005 (с отменой на территории Респ. Беларусь СНиП 2.04.05-91). Минск: Минстройархитектуры, 2015. 77 с.
8. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Б. М. Хрусталева [и др.]; под. общ. ред. Б. М. Хрусталева. 3-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во АСВ, 2008. 784 с.
9. Коммунальная гигиена / Е. И. Гончарук [и др.]; под. общ. ред. Е. И. Гончарука. Киев: «Здоров'я», 2006. 792 с.
10. Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics: EN 15251-2007. Date Approved: 26.03.2007. Brussel: CEN, 2007. 50 p.
11. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality: ASHRAE Standart 62-1989 [Electronic resource]. Mode of Access: <https://ashrae.iwrapper.com>. Date of Access: 24.04.2016.
12. Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования: ГОСТ Р ЕН 13779-2007. Введ. 01.10.2008. М.: Стандартинформ, 2008. 44 с.
13. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена: СТО НП «АВОК» 2.1-2008. Введ. 01.06.2004. М.: НП «АВОК», 2008. 16 с.
14. Статистический ежегодник Республики Беларусь 2017: статистический сборник / И. В. Медведева [и др.]. Минск: Национальный статист. комитет Респ. Беларусь, 2017. 506 с.

15. Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики. Правила определения: ТКП 45-2.04-196–2010* (02250). Введ. 09.01.2010. Минск: Минстрой-архитектуры, 2011. 27 с.
 16. Отопление и вентиляция жилых зданий: справочное пособие к СНиП. М.: Стройиздат, 1990. 24 с.
 17. Методика расчета выбросов диоксида углерода в атмосферу от котлов ТЭС и котельных: Методика 0212.16–99. Введ. 01.10.1999. [Электронный ресурс]: утв. приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 25.08.1999, № 232 // Право Беларуси. Режим доступа: <http://www.lawbelarus.com/068492>.
 18. Внутренние санитарно-гигиенические устройства: в 3 ч. / Ю. Н. Саргин [и др.]; под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1990. Ч. 2. Водопровод и канализация. 247 с.
 19. Поступила 26.04.2018
Подписана в печать 28.06.2018
Опубликована онлайн 27.07.2018
- ### REFERENCES
1. Pilipenko V. M. (2007) *Complex Reconstruction of Industrial Residential Development: Organizational and Technological Fundamentals*. Minsk, Adukatsiya i Vykhanne Publ. 280 (in Russian).
 2. TKP [Technical Code of Common Practice] 45-2.04-43–2006* (02250). *Thermal Engineering for Construction. Design and Construction Standards. Replaced Construction Standards of the Republic of Belarus*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2015. 47 (in Russian).
 3. Construction Standards of the Republic of Belarus SNB 2.04.01–97. *Thermal Engineering for Construction*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 1998. 32 (in Russian).
 4. Construction Standards of the Republic of Belarus SNB 2.01.01–93. *Thermal Engineering for Construction*. Minsk, Publishing House of State Committee of the Republic of Belarus on Architecture and Construction, 1994. 29 (in Russian).
 5. SNiP [Construction Rules and Regulations] II-3–79**. *Thermal Engineering for Construction*. Moscow, Publishing House of Central Institute of Standardized Design of USSR State Committee for Construction, 1986. 32 (in Russian).
 6. Construction Standards of the Republic of Belarus SNB 3.02.04–03*. *Residential Buildings*. Minsk: Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2016. 23 (in Russian).
 7. Standards of the Republic of Belarus 4.02.01–03*. *Heating, Ventilation and Air Conditioning: Construction*. Minsk. Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2015. 77 (in Russian).
 8. Khrustalev B. M., Kuvshinov Yu. Ya., Kopko V. M., Mikhalevich A. A., Dyachek P. I., Pokotilov V. V., Sen'kevich E. V., Borukhova L. V., Pilyushenko V. P., Bazylenko G. I., Yurkov O. I., Artikhovich V. V., Pshonik M. G. (2008) *Heating Supply and Ventilation. Course and Diploma designing*. 3rd ed. Moscow, ASV Publ. 2008. 784 (in Russian).
 9. Goncharuk E. I., Bardov V. G., Garkavii S. I., Yavorovskii A. P. (et. al.) (2006) *Environmental Sanitation*. Kiev, Publishing House "Zdorovya". 792 (in Russian).
 10. EN 15251–2007. *Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics*. Date Approved: 26.03.2007. Brussel, CEN, 2007. 50.
 11. ASHRAE Standard 62–1989. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Available at: <https://ashrae.iwrap.com>. (Accessed 24 April 2016).
 12. GOST [All-Union State Standard] P EH 13779–2007. *Ventilation in Non-Residential Buildings. Technical Requirements to Systems of Ventilation and Conditioning*. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 44 (in Russian).
 13. Organization Standard STO "AVOK" 2.1–2008. *Residential and Public Buildings. Air Exchange Standards*. Moscow, Publishing House of Non-Commercial Partnership "AVOK", 2008. 16 (in Russian).
 14. Medvedeva I. V. (ed.) (2017) *Statistical Yearbook of the Republic of Belarus for 2017: Statistical Compilation*. Minsk, National Statistical Committee of the Republic of Belarus. 506 (in Russian).
 15. TKP [Technical Code of Common Practice] 45-2.04-196–2010* (02250). *Thermal Shielding of Buildings. Thermal Power characteristics. Rules for Determination*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2011. 27 (in Russian).
 16. *Heating Supply and Ventilation of Residential Buildings. Reference Book for SNiP (Construction Rules and Regulations)*. Moscow: Stroyizdat Publ., 1990. 24 (in Russian).
 17. Methodology 0212.16–99. Methodology for Calculation of Carbon Emission in Atmosphere by Boilers of Thermal Power Plants and Boiler-Houses. *Law of Belarus*. Available at: <http://www.lawbelarus.com/068492> (in Russian).
 18. Sargin Yu. N., Druskin L. I., Pokrovskaya I. B., Staroverov I. G., Shiller Yu. I. (1990) *Interior Sanitary and Hygienic Devices. Part 2. Water Supply and Sanitary Piping*. Moscow, Stroyizdat Publ. 247 (in Russian).

Received: 26.04.2018

Accepted: 28.06.2018

Published online: 27.07.2018