

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-113-118

УДК 69.658.26

Пути снижения нормативных теплопотерь в жилых зданиях

Докт. техн. наук, проф. А. Э. Пиир¹⁾, канд. техн. наук, доц. О. А. Козак¹⁾,
докт. техн. наук, проф. В. Б. Кунтыш²⁾

¹⁾Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация),

²⁾Белорусский государственный технологический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Разработана упрощенная методика расчета нормативного коэффициента теплопередачи жилого здания. Выполнены исследования по влиянию на суммарные теплопотери размеров здания уровня теплоизоляции наружных ограждений и доли регенерации теплоты в системе вентиляции. Рассмотрены здания простой геометрической формы («спичечный коробок») с числом этажей 1; 2; 4; 8; 16, жилой площадью от 100 до 25600 м² при уровне теплового сопротивления стен 1; 3 и 5 м²·°C/Вт и доле регенерации теплоты вентиляционного потока воздуха 0; 0,5 и 0,66. Результаты исследования показали, что при увеличении габаритов здания происходит резкая трансформация размеров и структуры наружных ограждений: доля площади перекрытий сокращается в три раза; доля площади стен увеличивается в два раза. В шесть раз уменьшается доля площади поверхности наружной оболочки здания по сравнению с ее отапливаемой площадью. Отнесенный к отапливаемой площади средний коэффициент теплопередачи здания становится меньше в три раза. Показано, что для дальнейшего снижения нормативных теплопотерь жилых зданий наиболее эффективными путями являются: рекуперация теплоты в системе вентиляции (и тем глубже, чем выше уровень теплозащиты и холоднее климат зоны сооружения здания); укрупнение размеров зданий за счет уменьшения их числа; сверхнормативное повышение теплозащиты малоквартирных зданий и коттеджей; кубическая форма двух-, трехэтажных зданий для Крайнего Севера.

Ключевые слова: рекуперация теплоты, теплопотери, жилые здания

Для цитирования: Пиир, А. Э. Пути снижения нормативных теплопотерь в жилых зданиях / А. Э. Пиир, О. А. Козак, В. Б. Кунтыш // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 2. С. 113–118. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-113-118

Method for Decrease of Standard Heat Losses in Residential Buildings

A. E. Piir¹⁾, O. A. Kozak¹⁾, V. B. Kuntysch²⁾

¹⁾Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russian Federation),

²⁾Belarusian State Technological University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. A simplified method for calculation of standard coefficient for heat transfer in a residential building has been developed in the paper. Investigations have been carried out with the purpose to determine influence of building size, level of thermal insulation in external enclosures and share of heat regeneration in ventilation system on total heat losses. The paper considers buildings of a simple geometrical form ("matchbox") with number of floors 1, 2, 4, 8, 16 and living area from 100 up to 25600 m² at the level of thermal resistance of walls 1; 3 and 5 m²·°C/W and share of heat regeneration in ventilation air stream of 0; 0.5 and 0.66. The investigation results have shown that while increasing building size then there is a sudden transformation of dimensions and structure in external enclosures: share of overlapping area is reduced by 3-fold and share

Адрес для переписки

Козак Оксана А.
Северный (Арктический) федеральный университет
имени М. В. Ломоносова
набережная Северной Двины, 17,
163002, г. Архангельск, Российская Федерация
Тел.: +7 8182 21-61-75
oksana_kozak_2012@mail.ru

Address for correspondence

Kozak Oksana A.
Northern (Arctic) Federal University
named after M. V. Lomonosov
17 Naberezhnaya Severnoy Dviny,
163002, Arkhangelsk, Russian Federation
Tel.: +7 8182 21-61-75
oksana_kozak_2012@mail.ru

of wall area is increased by 2-fold. Surface area of building external envelope is reduced by 6-fold in comparison with its heated area. An average coefficient of building heat transfer assigned to heated area is decreased by 3-fold. It has been shown that the most efficient methods for further decrease of standard heat losses for residential buildings are the following: heat recovery in the ventilation system: it is deeper if heat protection rate is higher and climate of a building construction zone is colder; enlargement of building size through decrease of their number; limit-exceeding increase in heat protection of small apartment buildings and cottages; cubic form of 2–3-floor buildings for Far North.

Keywords: heat recovery, heat losses, residential buildings

For citation: Piir A. E., Kozak O. A., Kuntysh V. B. (2017) Method for Decrease of Standard Heat Losses in Residential Buildings. *Science and Technique*. 16 (2), 113–118. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-113-118 (in Russian)

Россия является самой холодной из обитаемых стран земного шара. По этой причине 93 % ее жителей населяют лишь 33 % территории: Европейскую часть, Юг Сибири и Дальнего Востока. Как известно, 3/4 жизни люди проводят внутри помещений, где для создания здоровых и комфортных условий приходится тратить топливо. 50 % жилого фонда России построено до 1970 г., 45 % жилья – односемейные дома.

До 1995 г. нормативный уровень теплозащиты жилых и общественных зданий России обеспечивал лишь соблюдение санитарных требований внутри отапливаемых помещений при минимальном тепловом сопротивлении наружных ограждений ($R_{ст} = 0,9–1,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) [1, 2]. Годовой расход теплоты на одного жителя для отопления и вентиляции жилых и общественных зданий q в зависимости от зоны проживания составлял от 2,35 до 4,40 Гкал/(год·чел.) [3], а в общем по стране $500 \cdot 10^6$ Гкал, или 70 млн т у. т. В Европейской части России на отопление жилых и производственных зданий энергоресурсов затрачивается в несколько раз больше, чем

в странах, расположенных на одинаковой широте – Финляндии, Швеции, Германии.

Для сокращения расходов топлива СНиП [4] потребовал увеличить теплозащиту наружных ограждений жилых зданий в 2,5–4 и более раз в зависимости от «хладоемкости» отопительного периода D_d и ограничил расчетные теплопотери жилых зданий величиной 120–80 Вт/м² [5]. Это позволило снизить суммарную расчетную тепловую нагрузку отопления и вентиляции, например, для пятиэтажного жилого здания на 80 квартир, в южном исполнении – на 37 %, в северном исполнении – на 55 % (табл. 1).

Поскольку проблема экономии топлива в жилищно-коммунальном хозяйстве остается по-прежнему актуальной [6], рассмотрим общие теплотехнические закономерности, описывающие теплопотери здания, и попытаемся установить наиболее рациональные пути их сокращения. Жилые здания отличаются разнообразием размеров, геометрических форм, архитектурных стилей и материалов, использованных для сооружения.

Таблица 1

Тепловые показатели характерных климатических зон России [4]
Heat indices of relevant climate zones in Russia [4]

Климатическая зона России	Доля населения стран в климатической зоне N , %	Продолжительность отопительного периода n_o , ч/год	Расчетная температура воздуха для системы отопления $t_{ро}$, °C	Годовой расход теплоты на одного жителя q , Гкал/чел.	Число градусо-суток отопительного периода $D_d \cdot 10^{-3}$, °C·сут.	Сопротивление теплопередаче стен $R_{ст}$, м ² ·°C/Вт	Снижение нагрузки отопления благодаря усилению теплозащиты ΔQ , %
Сибирь и Дальний Восток	15	> 6000	< –35	> 4,4	8–16	4,2–7	55
Север Европейской части	10	5500	–30	4	6	3,6	49
Средняя полоса	30	5000	–25	3,4	4	2,9	44
Юг Европейской части	45	4000	–15	2,35	3	2,4	37

Процесс утечки теплоты из отапливаемых помещений в окружающую среду через стены, окна и наружные покрытия/перекрытия описывается формулами теплопередачи [7]

$$Q = \Delta t(\Sigma A_i/R_i) = K_{cp}\Delta t A_{нар}, \quad (1)$$

где Δt – перепад температуры воздуха внутри и снаружи здания, °C; A_i , R_i – площадь поверхности строительных элементов наружного ограждения здания, м², и их сопротивление теплопередаче, м²·°C/Вт; $A_{нар} = \Sigma A_i$ – площадь поверхности наружной оболочки здания, м²; K_{cp} – средний коэффициент теплопередачи через наружную оболочку здания, Вт/(м²·°C).

Формула (1) используется для расчета теплототеря здания по его строительным данным и вычисления среднего коэффициента теплопередачи, который служит показателем теплового совершенства оболочки и соответствия теплозащиты здания нормативным требованиям. Как показано в [8], уравнение (1) может быть использовано для упрощенного расчета нормативных теплототеря здания в предпроектной стадии, когда известны лишь габариты здания по наружному обмеру (длина, ширина, высота) и уровень теплозащиты.

Установлено, что средний безразмерный нормативный коэффициент теплопередачи жилых зданий простой прямоугольной формы («спичечный коробок») высотой от 1 до 16 этажей в зависимости от уровня теплозащиты согласно СНиП 23-02-2003 описывается формулой

$$\begin{aligned} \bar{K}_{cp} &= K_{cp}R_{ст} = \bar{K}_{ст} + \bar{K}_{пп} + \bar{K}_{оз} = \\ &= a_{ст}(1 - \omega) + 0,714a_{пп} + 6,25\omega a_{ст}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\bar{K}_{ст}$, $\bar{K}_{пп}$, $\bar{K}_{оз}$ – безразмерные коэффициенты теплопередачи стен, покрытий/перекрытий, оконных закрытий, $\bar{K}_i = K_i/R_i$; $a_{ст} = A_{ст}/A_{нар}$ – доля площади стен в общей площади наружных ограждений; $a_{пп} = A_{пп}/A_{нар}$ – доля покрытий/перекрытий в общей площади наружных ограждений; $\omega = A_{ок}/A_{ст}$ – доля площади остекления фасадов здания.

Конкретную величину сопротивления теплопередаче стен жилого здания выбирают в зависимости от «хладоемкости» отопительного периода года D_d , °C·сут., [9]

$$R_{ст} = 0,35D_d \cdot 10^{-3} + 1,4. \quad (3)$$

Исследуем влияние геометрических размеров здания на его теплотехнические показатели. Рассмотрим ряд зданий простой прямоугольной формы с числом квартир от 1 до 256, числом этажей $z = 1, 2, 4, 8, 16$. Кубатура зданий $V = B \times L \times H$ (м³) растет с шагом в четыре раза, причем для повышения плотности жилой застройки увеличение высоты H опережает рост длины здания L .

Геометрические показатели зданий описывают формулы:

– площадь отапливаемых помещений

$$A_o = BLz = V/h; \quad (4)$$

– площадь наружных ограждений

$$A_{нар} = A_{ст} + A_{пп} = 2(LB + BH + HL); \quad (5)$$

– величина охлаждающих здание поверхностей на единицу отапливаемой площади

$$\varphi = A_{нар}/A_o = 2h(L^{-1} + B^{-1} + H^{-1}); \quad (6)$$

– доля площади перекрытий и стен в площади наружных ограждений

$$a_{пп} = A_{пп}/A_{нар} = (1 + H/L + H/B)^{-1}; \quad (7)$$

$$a_{ст} = 1 - a_{пп},$$

где $z = H/h$ – число этажей здания высотой по h .

Результаты расчета геометрических показателей жилых домов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение геометрических характеристик жилого дома при увеличении его размеров
Changes in geometric characteristics of residential building while increasing its size

Характеристика здания	Число этажей				
	1	2	4	8	16
A_o , м ²	100	400	1600	6400	25600
Высота H , м	3	6	12	24	48
Ширина B , м	8	10	12	14	16
Длина L , м	12,5	20	33	57	100
$\varphi = A_{нар}/A_o$	3,23	1,92	1,18	0,78	0,54
$a_{пп} = A_{пп}/A_{нар}$	0,619	0,521	0,424	0,319	0,222
$a_{ст} = A_{ст}/A_{нар}$	0,381	0,474	0,576	0,681	0,778
$a_{ок} = A_{ок}/A_o$	0,030	0,047	0,070	0,096	0,120
$A_{ок}/A_o = \omega$	0,080	0,100	0,120	0,140	0,160
$s = A_{ст}/A_{пп}$	0,61	0,9	1,36	2,13	3,57

Полученные данные свидетельствуют о резкой трансформации геометрических характеристик жилых зданий при увеличении размеров: доля площади перекрытий $a_{\text{пп}}$ сокращается в три раза – с 0,62 до 0,22, а доля площади стен $a_{\text{ст}}$ увеличивается в два раза – с 0,38 до 0,78. Величина относительной площади остекления $a_{\text{ок}}$ увеличивается в четыре раза – с 0,03 до 0,12. Вместе с тем резко сокращается относительная величина охлаждающих здание наружных поверхностей φ – с 3,23 до 0,54. Значительное уменьшение размеров охлаждающей оболочки на единицу отапливаемой площади обеспечивает высокую тепловую эффективность крупных зданий, несмотря на увеличение доли поверхности ограждающих конструкций с более низким теплотехническим качеством. Следует отметить, что использование кубической формы для наиболее энергорасточительных многоквартирных зданий позволяет сократить теплопотери на 10–20 % за счет снижения доли наружной поверхности φ .

Укрупнение жилых зданий за счет уменьшения их числа является эффективным способом теплосбережения. Как видно из табл. 2, одно здание с жилой площадью 400 м² имеет в шесть раз меньше площадь наружных ограждений, чем четыре здания с жилой площадью по 100 м² каждое. Одно четырехэтажное здание площадью 1600 м² имеет в восемь раз меньше площадь наружных ограждений, чем четыре двухэтажных здания площадью по 400 м². С учетом возрастания среднего коэффициента теплопередачи теплопотери через ограждения снизятся более чем в пять раз.

Значения среднего коэффициента теплопередачи для указанного ряда жилых зданий (формула (2)) и составляющих его величин $\bar{K}_{\text{ст}}$, $\bar{K}_{\text{пп}}$, $\bar{K}_{\text{ок}}$ приведены в табл. 3.

Расчеты показывают, что структура теплопотерь в жилых зданиях и их величина резко меняются с увеличением габаритов здания и доли поверхности вертикальных ограждений:

- коэффициент теплопередачи через стены увеличивается в два раза;
- коэффициент теплопередачи через покрытия уменьшается в три раза;

- коэффициент теплопередачи через окна увеличивается в пять раз.

Таблица 3

Изменение структуры и величины теплопотерь сквозь различные ограждения жилого дома

Changes in structure and value of heat loss through various residential building enclosures

Безразмерный коэффициент теплопередачи	Число этажей				
	1	2	4	8	16
$\bar{K}_{\text{ст}}$	0,350	0,474	0,507	0,580	0,650
$\bar{K}_{\text{пп}}$	0,442	0,375	0,305	0,230	0,160
$\bar{K}_{\text{ок}}$	0,154	0,293	0,430	0,620	0,750
$\bar{K}_{\text{ср}} \rightarrow A_{\text{нар}}$	0,90	0,98	1,24	1,43	1,59
	0,80	0,95	1,30	1,34	1,60
$\bar{K}_{\text{ср}} \varphi \rightarrow A_0$	2,70	1,90	1,50	1,30	0,90

Средний, отнесенный к наружной поверхности здания коэффициент теплопередачи $\bar{K}_{\text{ср}}$ увеличивается почти в два раза – с 0,90 до 1,59, а отнесенный к отапливаемой площади здания $\bar{K}_{\text{ср}}\varphi$ уменьшается в три раза – с 2,7 до 0,9.

Увеличение термического сопротивления наружных ограждений ($R_{\text{ст}} = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) в три и пять раз вызовет пропорциональное снижение среднего коэффициента теплопередачи $K_{\text{ср}} = \bar{K}_{\text{ср}}\varphi/R_{\text{ст}}$, Вт/(м²·°C), но лишь частично скажется на суммарных теплопотерях жилого здания, значительную долю которых составляют вентиляционные потери.

Условный вентиляционный коэффициент теплопередачи при норме вентиляционного потока воздуха $L = 30 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{чел.})$ и заселенности общей площади здания $f = 20 \text{ м}^2/\text{чел.}$ [10] составляет величину

$$K_{\text{вент}} = 0,28Lc_p\rho/f = 0,28 \cdot 30 \cdot 1 \cdot 1,3/20 = 0,54 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}). \quad (8)$$

Исследуем, как повлияют вентиляционные теплопотери на суммарный коэффициент теплопередачи жилого здания при различных уровнях его теплоизоляции $R_{\text{ст}}$ и коэффициенте регенерации теплоты r в системе вентиляции:

$$K_{\text{сум}} = \bar{K}_{\text{ср}}\varphi/R_{\text{ст}} + 0,54 \cdot (1 - r). \quad (9)$$

**Влияние сопротивления теплопередаче ограждений и рекуперации теплоты
в системе вентиляции на теплотери жилых зданий**

**Influence of resistance against enclosure heat transfer and heat recuperation
in ventilation system on heat losses in residential buildings**

Показатель	Число этажей		
	3	5	9
Размер здания $H \times L \times B$, м	9×40×10	15×60×12	27×30×14
Общая жилая площадь $A_{\text{о}}$, м ²	1200	3600	10400
Относительная величина площади наружных ограждений φ	1,32	0,96	0,72
Средний безразмерный коэффициент теплопередачи $\bar{K}_{\text{ср}} \varphi$, отнесенный к отапливаемой площади здания	1,54	1,29	1,07
Вентиляционный коэффициент теплопередачи $K_{\text{вен}}$, Вт/(м ² ·°C), при:			
$r = 0$	0,54	0,54	0,54
$r = 0,5$	0,27	0,27	0,27
$r = 0,66$	0,18	0,18	0,18
Суммарный коэффициент теплопередачи жилого здания $K_{\text{сум}}$, Вт/(м ² ·°C), при:			
$R_{\text{ст}} = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, $r = 0$	2,08	1,83	1,61
$R_{\text{ст}} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, $r = 0$	1,05	0,97	0,90
$R_{\text{ст}} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, $r = 0$	0,85	0,80	0,76
$R_{\text{ст}} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:			
$r = 0,5$	0,58	0,53	0,49
$r = 0,66$	0,49	0,44	0,40

Результаты расчета суммарного коэффициента теплопередачи жилых зданий с числом этажей 3, 5, 9 при сопротивлении теплопередаче $R_{\text{ст}} = 1; 3 \text{ и } 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и с долей рекуперации теплоты в системе вентиляции $r = 0; 0,5 \text{ и } 0,66$ приведены в табл. 4.

Расчеты показали, что увеличение термического сопротивления теплопередаче в три раза по сравнению с исходным значением ($R_{\text{ст}} = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), обязательным для зданий, сооруженных до 1995 г., вызывает снижение суммарного коэффициента в два раза для жилых зданий высотой 3, 5 и 9 этажей.

Однако дальнейшее повышение теплосащиты этих строений за счет увеличения сопротивления теплопередаче еще на две позиции – до $R_{\text{ст}} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ – вызывает снижение суммарного коэффициента теплопередачи всего на 20 % из-за тормозящего влияния вентиляционного коэффициента теплопередачи.

Если при этом одновременно снизить вентиляционные теплотери в два раза с помощью теплообменника-регенератора, то суммарные теплотери уменьшатся на 45–60 %, т. е. экономия теплоты увеличится в 2–3 раза.

При снижении теплотери от вентиляции в три раза суммарные теплотери здания снова уменьшаются в два раза. Таким образом, повышение теплосащиты ($R_{\text{ст}}$) зданий от 3 до 5 $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ дает наибольшие эффекты только при одновременном снижении вентиляционных теплотери. Это значит, что рекуперация теплоты вентиляционных потоков является обязательным условием теплосбережения в районах с холодным климатом или для зданий с усиленной теплосащитой.

ВЫВОДЫ

Анализ теплотехнических показателей жилых зданий позволяет сделать ряд общих рекомендаций, направленных на снижение нормативных теплотери зданий в 1,5–2,5 раза, особенно для зданий, расположенных в суровых климатических районах России. Экономии теплоты способствуют:

- рекуперация теплоты в системе приточно-вытяжной вентиляции жилых зданий вообще

и особенно для зданий в районах Крайнего Севера;

- укрупнение размеров зданий за счет уменьшения их количества;
- сверхнормативное повышение термического сопротивления наружных ограждений коттеджей и малоквартирных зданий;
- кубическая, цилиндрическая или купольная формы небольших зданий высотой в 2–3 этажа;
- совместное использование указанных способов экономии теплоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водяные тепловые сети: справ. пособие по проектированию / И. В. Беляйкина [и др.]; под ред. Н. К. Громова. М.: Энергоатомиздат, 1988. 376 с.
2. Щекин, Р. В. Справочник по теплоснабжению и вентиляции в гражданском строительстве / Р. В. Щекин, С. М. Корневский, Г. Е. Бем. Киев: Госиздат, 1962. 1020 с.
3. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. 6-е изд. М.: Энергоиздат, 1982. 360 с.
4. Тепловая защита зданий: СНиП 23-02–2003. Госстрой России. М.: ОАО «ЦПП», 2004. 139 с.
5. Ливчак, И. Ф. Обоснование расчета удельных показателей расхода тепла на отопление разноэтажных жилых зданий / И. Ф. Ливчак // АВОК. 2005. № 2. С. 10–16.
6. Ливчак, В. И. Еще один довод в пользу повышения теплозащиты зданий / В. И. Ливчак // Энергосбережение. 2012. № 6. С. 14–20.
7. Малявина, Е. Г. Теплопотери здания. Справочное пособие / Е. Г. Малявина. 2-е изд., испр. М.: АВОК-ПРЕСС, 2011. 144 с.
8. Пиир, А. Э. Нормативный коэффициент теплопередачи жилого здания / А. Э. Пиир, О. А. Козак, И. М. Агафонов // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2015. № 5. С. 69–76.
9. Строительная климатология: СНиП 23-01–99*: введ. 01.01.2000. М.: ГУП «ЦПП», 2003. 109 с.
10. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена: Стандарт-1–2004. М.: АВОК-ПРЕСС, 2004. 32 с.

Поступила 31.03.2016
 Подписана в печать 21.10.2016
 Опубликовано онлайн 28.03.2017

REFERENCES

1. Belyaikina I. V., Vitalev V. P., Gromov N. K. (ed.), Igolka L. P., Lyamin A. A., Ostaltsev P. P., Safonov A. P., Skvortsov A. A., Suris M. A., Tagi-zade R. M., Falikov V. S., Shubin E. P. (1988) *Water Heat Supply Network. Reference Book for Designing*. Moscow, Energoatomizdat. 376 (in Russian).
2. Shchekin R. V., Korenevskii S. M., Bem G. E. (1962) *Reference Book for Heat Supply and Ventilation in Civil Engineering*. Kiev, Gosizdat Publ. 1020 (in Russian).
3. Sokolov E. Ya. (1982) *District Heating and Heat Supply Network*. 6th ed. Moscow, Energoizdat Publ. 360 (in Russian).
4. SNiP 23-02–2003 [Construction Rules and Regulations] *Thermal Performance of the Buildings*. Moscow, Gosstroy of Russia, 2004. 139 (in Russian).
5. Livchak I. F. (2005) Substantiation of Calculations for Specific Indices of Heat Consumption for heating Various-Storey Residential Buildings. *AVOK* [Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat-Supply and Building Thermal Physics], (2), 10–16 (in Russian).
6. Livchak V. I. (2012) One More Argument for Improvement of Building Thermal Protection. *Energoberezhnie* [Power Saving], (6), 14–20 (in Russian).
7. Malyavina E. G. (2011) *Building Heat Losses. Reference Book*. 2nd ed. Moscow, AVOK-PRESS Publ. 144 (in Russian).
8. Piiir A. E., Kozak O. A., Agafonov I. M. (2015) Normative Heat-Transfer Coefficient of the Residential Building. *Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, (5), 69–76 (in Russian).
9. SNiP 23-01–99* [Construction Rules and Regulations]. *Building Climatology*. Moscow, State Unitary Enterprise – Centre for Project Designs, 2003. 109 (in Russian).
10. Standard-1–2004. *Residential and Public Buildings. Air Interchange Standards*. Moscow, AVOK-PRESS Publ. 32 (in Russian).

Received: 31.03.2016
 Accepted: 21.10.2016
 Published online: 28.03.2017