



Влияние методов снижения теплотребления систем обеспечения микроклимата на характеристики систем отопления жилых домов

Изучению методов повышения энергетической эффективности «активных» (отопление и вентиляция) и «пассивных» (тепловой контур) систем обеспечения параметров микроклимата гражданских зданий посвящено значительное число современных научных исследований [1–7]. Одним из важных направлений в данной области является решение задачи оптимального выбора таких сочетаний типовых энергосберегающих мероприятий, которые позволяют достигнуть необходимого класса энергосбережения здания.

Для оценки потенциала энергосбережения типовых мероприятий в области систем обеспечения микроклимата авторами предлагается пользоваться понятием «эталонного здания», чьи наружные ограждающие конструкции соответствуют минимальным требованиям санитарной гигиены, температура на внутренней поверхности которых ниже внутреннего воздуха на 4 °С для стен, на 3 °С — для потолков и на 2 °С — для полов.

Предполагается, что в «эталонном здании» работают системы вентиляции, которые не оборудованы утилизаторами теплоты удаляемого воздуха, то есть их коэффициент эффективности рекуперации $k_{эф} = 0$. Средства автоматического регулирования системы отопления отсут-

ствуют, величина коэффициента эффективности регулирования подачи теплоты составляет $K_{рег} = 0,6$ [8].

Показатели энергетической эффективности проектируемого объекта рассчитываются сначала при соответствии его теплового контура и отопительно-вентиляционных систем параметрам «эталонного здания», а затем пересчитываются с учетом применяемых энергосберегающих мероприятий, таких как повышение приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждений $R_{пр}$ [м²·°С/Вт], автоматизация систем отопления (то есть $K_{рег} > 0,6$), утилизация теплоты удаляемого воздуха (увеличение $k_{эф}$).

Для оценки потенциала типовых энергосберегающих мероприятий предлагается использовать понятие «эталонного здания», чьи наружные ограждающие конструкции соответствуют минимальным требованиям санитарной гигиены, температура на внутренней поверхности которых ниже внутреннего воздуха на величину: для стен — на 4 °С, для потолков — на 3 °С, для полов — на 2 °С

Рецензия эксперта на статью получена 27.11.2021 [The expert review of the article received on November 27, 2021].

УДК 697.1:699.8. Научная специальность: 05.23.03.

О влиянии методов снижения теплотребления систем обеспечения параметров микроклимата на характеристики систем отопления жилых домов

М. В. Бодров, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой; **В. Ю. Кузин**, к.т.н., доцент; **А. Ф. Юланова**, аспирант; **Е. М. Прыткова**, магистрант, кафедра отопления и вентиляции, [Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет \(ННГАСУ\)](#)

Приведён сравнительный анализ процентов снижения удельной характеристики потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию «эталонного» многоквартирного жилого дома за отопительный период при внедрении типовых энергосберегающих мероприятий в области его «активных» и «пассивных» систем обеспечения параметров микроклимата. Представлены результаты расчёта характеристик системы отопления рассматриваемого многоэтажного здания от типовых значений его удельных теплозащитных и вентиляционных характеристик.

Ключевые слова: многоквартирные жилые дома, класс энергосбережения, отопительно-вентиляционные системы, тепловой контур здания, энергетическая эффективность.

UDC 697.1:699.8. Number of scientific specialty: 05.23.03.

On the influence of methods of reducing heat consumption of systems of providing microclimate parameters on the characteristics of heating systems of residential buildings

M. V. Bodrov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department; **V. Yu. Kuzin**, PhD, Associate Professor; **Al. F. Yulanova**, post-graduate student; **El. M. Prytkova**, magistrant, the Department of Heating and Ventilation, [Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering \(NNGASU\)](#)

A comparative analysis of the percentage of reduction in the specific characteristic of heat energy consumption for heating and ventilation of a "reference" multi-apartment residential building for the heating period when introducing standard energy-saving measures in the field of its "active" and "passive" systems for ensuring microclimate parameters is presented. The results of calculating the characteristics of the heating system of the considered multi-storey building from the typical values of its specific heat-shielding and ventilation characteristics are presented.

Key words: apartment buildings, energy efficiency class, heating and ventilation systems, building thermal circuit, energy efficiency.

Показателем, отражающим потенциал энергосбережения каждого из мероприятий, служит процент снижения удельной характеристики потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период N [%], определяемый по формуле:

$$N = 100 \frac{q_{\text{от.эт}} - q_{\text{от.р}}}{q_{\text{от.эт}}}, \quad (1)$$

где $q_{\text{от.эт}}$ и $q_{\text{от.р}}$ — удельные характеристики потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию рассматриваемого здания [Вт/(м³·°C)] за отопительный период, соответственно, для его «эталонных» систем обеспечения микроклимата и при внедрении энергосберегающего мероприятия, равные

$$q_{\text{от}} = k_{\text{об}} + k_{\text{вент}} + \frac{K_{\text{рег}}}{1 + 0,5n} (k_{\text{быт}} + k_{\text{рад}}), \quad (2)$$

где $k_{\text{об}}$, $k_{\text{вент}}$, $k_{\text{быт}}$ и $k_{\text{рад}}$ — удельные характеристики (соответственно, теплозащитная, вентиляционная, бытовых тепловыделений и поступлений солнечной радиации [Вт/(м³·°C)]), вычисляемые согласно [8, 9]; n — средняя кратность воздухообмена, ч⁻¹.



В ходе исследования был проведён расчёт значений N для типовых энергосберегающих мероприятий, внедряемых при проектировании четырёхсекционного пятиэтажного жилого дома в городе Нижний Новгород (рис. 1). Рассматриваемое здание имеет такие характеристики: отопляемый объём составляет $V_{\text{от}} = 19$ тыс. м³;

высота этажа — $h = 3$ м; коэффициент остеклённости — $f = 0,21$; средняя кратность воздухообмена — $n = 0,8$ ч⁻¹. На каждом этаже отдельной секции расположено по две двухкомнатные и две трёхкомнатные квартиры с отдельными санузлами и кухнями с электроплитами.

Рассматриваемое здание имеет следующие «эталонные» значения приведённых сопротивлений теплопередаче $R_{\text{пр}}$: стен — 1,35 м²·°C/Вт; покрытий кровли — 1,80 м²·°C/Вт; пола — 2,70 м²·°C/Вт; светопрозрачных заполнений оконных проёмов — 0,55 м²·°C/Вт.

В результате проведённого расчёта было получено следующее:

- наименьшие потенциалы энергосбережения имеют мероприятия, связанные с повышением приведённых сопротивлений теплопередаче N покрытий кровли (0,6–5,6%) и пола (0,4–3,1%), а также с использованием средств автоматизации системы отопления (1,8–6,3%);
- относительно небольшой потенциал энергосбережения соответствует мероприятиям по установке заполнения оконных проёмов с высокими значениями приведённого сопротивления теплопередаче ($N = 1,9$ –7,1%), что связано в первую очередь с низким коэффициентом остеклённости;
- повышение приведённого сопротивления теплопередаче стен позволяет достигнуть значений N от 7,9 до 19,8%, что, в свою очередь, требует применения теплоизолирующего слоя толщиной $\delta = 200$ –350 мм и более;
- наибольший потенциал энергосбережения имеют мероприятия по утилизации теплоты удаляемого воздуха, которые, в зависимости от коэффициента эффективности утилизатора $k_{\text{эф}}$, дают величину N от 24 до 54,8%.

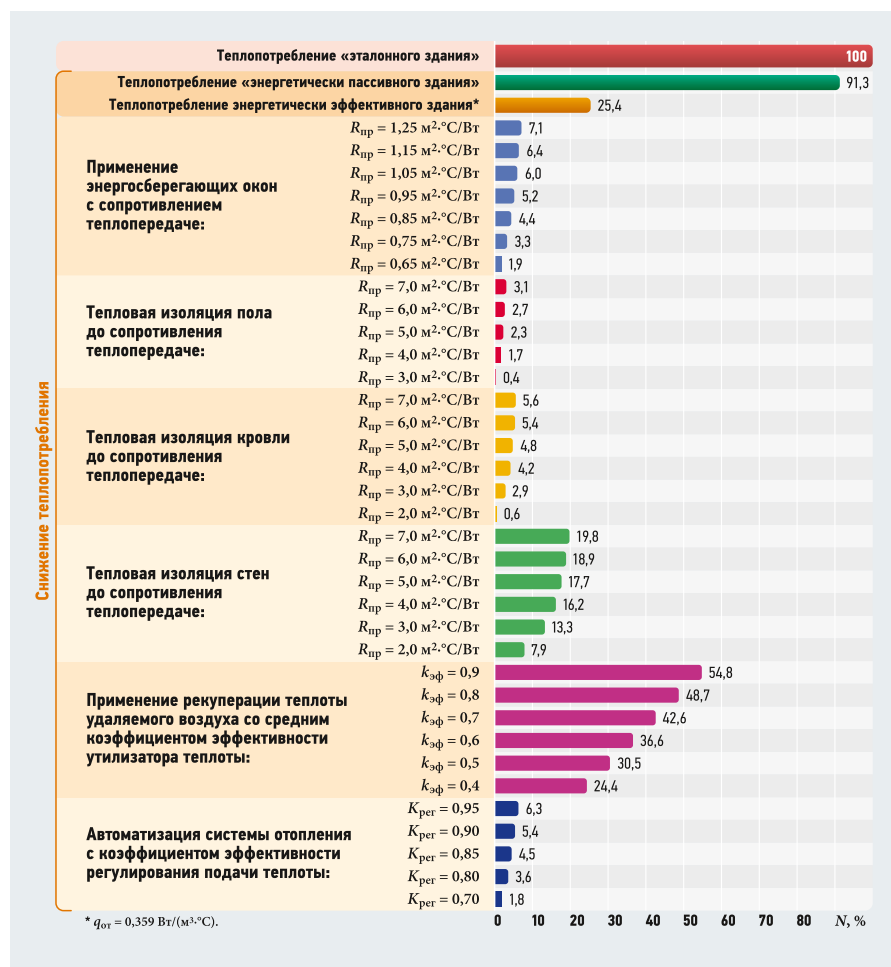


Рис. 1. Процент снижения теплотребования системами отопления и вентиляции при внедрении типовых энергосберегающих мероприятий в области «активных» и «пассивных» систем обеспечения параметров микроклимата жилого дома



На рис. 1 также приведено теплотребление «эталонного здания», выраженное через максимальный потенциал энергосбережения $N = 100\%$, а также значения N при достижении указанным зданием действующих стандартов энергетической эффективности тепловой защиты ($N = 25,4\%$) и возведения «энергетически пассивных зданий» ($N = 91,3\%$).

Таким образом, энергетически эффективный дом будет потреблять на $25,4\%$ меньше тепловой энергии на отопление и вентиляцию, чем «эталонный», а «энергетически пассивный» — на $91,3\%$.

Для классов энергосбережения В+ и выше устройство утилизаторов теплоты, а значит и применение механической приточно-вытяжной вентиляции должно рассматриваться как обязательное мероприятие

Дополнительно были получены значения N при достижении рассматриваемым зданием различных классов энергосбережения (рис. 2).

Для рассматриваемого жилого дома класс D недопустим, поскольку в зданиях такого класса нельзя обеспечить соблюдение санитарно-гигиенических требований к внутренним поверхностям наружных ограждающих конструкций. Показатель N примет отрицательное значение, поскольку имеет место $q_{от.эт} < q_{от.р}$.

Достижение различных классов энергосбережения может быть реализовано несколькими равнозначными способами, и чем класс энергосбережения выше, тем меньше имеется вариантов сочетания типовых энергосберегающих мероприятий,

не включающих использование утилизации теплоты удаляемого воздуха, которые могут обеспечить необходимые $q_{от.р}$.

Для классов энергосбережения В+ и выше устройство утилизаторов теплоты, а значит и применение механической приточно-вытяжной вентиляции должно рассматриваться как обязательное мероприятие. Приведение рассматриваемого многоквартирного дома к классу А++ или к «энергетически пассивному» невозможно без комплексного повышения приведённого сопротивления теплопередаче элементов его теплозащитной оболочки и полезного использования теплоты удаляемого из помещений воздуха.

Из табл. 1 напрямую следует, что отклонение величины $q_{от.р}$ от её нормируемого согласно СП 50.13330.2012 [9] значения [$q_{от} = 0,359 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$] практически не зависит от уровня автоматизации системы отопления при низких классах энергосбережения, и наоборот — при высоких, что связано с постепенным уменьшением соотношения теплотоперь и теплоизбытков в данном здании.

Введём параметр $k_{от} [\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})]$, показывающий, какая часть заданного значения ($k_{об} + k_{вент} = \text{const}$) должна компенсироваться отопительными приборами системы отопления с учётом утилизации теплоты, равный:

$$\text{□ для здания с системами ЕВ} \quad k_{от} = k_{об} + k_{вент}; \quad (3)$$

$$\text{□ для здания с системами МВ} \quad k_{от} = k_{об} + k_{вент} k_{эф}. \quad (4)$$

Полученные значения $k_{от}$ позволяют определить средние теплотопери $Q_{ср} [\text{Вт}/\text{шт.}]$, компенсируемые одним отопительным прибором:

$$Q_{ср} = k_{от} V_{ср} (t_{в} - t_{нхл}) - q_{быт} A_{ср}, \quad (5)$$

где $V_{ср}$ — осреднённый объём здания, приходящийся на один отопительный прибор, $\text{м}^3/\text{шт.}$; $t_{в}$ и $t_{нхл}$ — температуры воздуха (внутреннего и наружного, соответственно) $^\circ\text{C}$ наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью $0,92$; $q_{быт}$ — удельные бытовые тепловыделения, $q_{быт} = 10 \text{ Вт}/\text{м}^2$; $A_{ср}$ — средняя площадь жилых комнат и кухонь, приходящаяся на один отопительный прибор, $\text{м}^2/\text{шт.}$

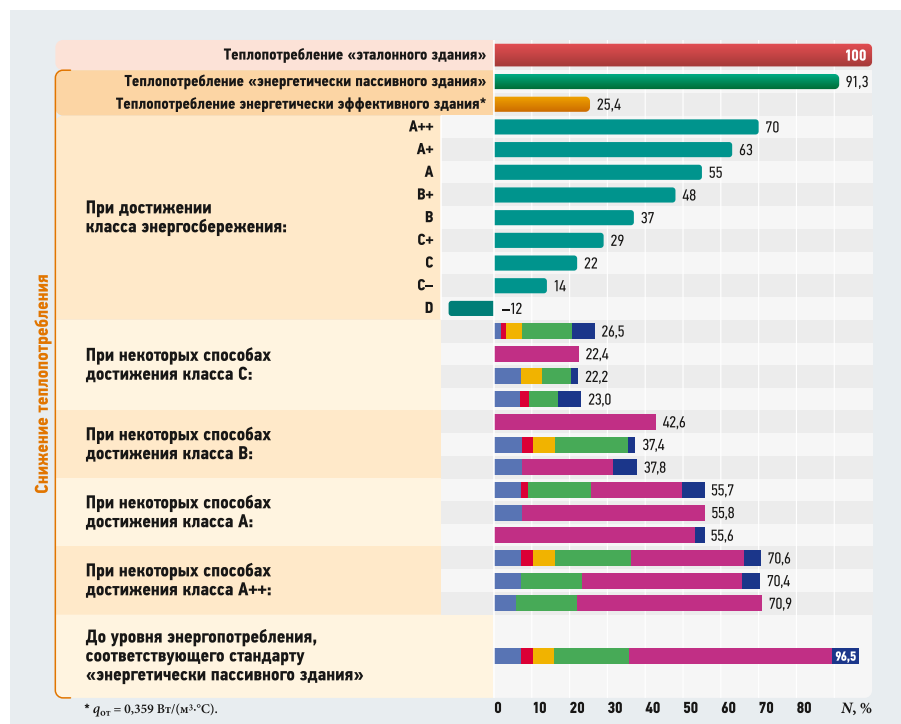


Рис. 2. Процент снижения теплотребления системами отопления и вентиляции при внедрении нескольких типовых энергосберегающих мероприятий для достижения требуемых классов энергосбережения жилого дома

В этом случае расчётная мощность системы отопления Q_{co} [кВт] рассматриваемого в данной статье здания определяется по следующей формуле:

$$Q_{co} = \frac{Q_{пр} n_{пр}}{1000}, \quad (6)$$

где $n_{пр}$ — количество обслуживающих здание отопительных приборов [шт.], для рассматриваемого здания оно примерно равно количеству отапливаемых жилых комнат и кухонь и составляет величину $n_{пр} = 320$ шт.



Отклонение $q_{от}$ от требуемого значения*

табл. 1

$K_{рег}$	Для $k_{об} + k_{вент}$, Вт/(м ³ ·°C):							
	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
0,6	19,9 D	9,8 C–	–3,1 C	–20,4 B	–44,7 A	–81,2 A++	–142,3 A++	–265,8 A++
0,7	18,3 D	7,8 C–	–5,7 C+	–24,0 B	–49,9 A	–89,5 A++	–157,4 A++	–301,1 A++
0,8	16,7 D	5,7 C–	–8,5 C+	–27,8 B	–55,5 A+	–98,5 A++	–174,4 A++	–344,0 A++
0,85	15,8 D	4,7 C	–9,9 C+	–29,8 B	–58,5 A+	–103,4 A++	–183,7 A++	–369,1 A++
0,9	15,0 C–	3,5 C	–11,4 C+	–31,9 B+	–61,6 A++	–108,5 A++	–193,8 A++	–397,2 A++
0,95	14,1 C–	2,4 C	–12,9 C+	–34,0 B+	–64,8 A++	–113,8 A++	–204,5 A++	–428,8 A++

* И соответствующие ему классы энергосбережения для многоквартирного жилого дома при различных сочетаниях $K_{рег}$ и $k_{об} + k_{вент}$.

Значения $k_{от}$ [Вт/(м³·°C)]*

табл. 2

Тип	$k_{эф}$, доля	Для $k_{об} + k_{вент}$, Вт/(м ³ ·°C):							
		0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
ЕВ	0	0,500	0,450	0,400	0,350	0,300	... **	... **	... **
МВ	0	0,206	0,157	0,107	0,057	0,007	... **	... **	... **
	0,4	0,324	0,274	0,224	0,174	0,124	0,074	0,024	... **
	0,5	0,354	0,304	0,254	0,204	0,154	0,104	0,054	0,004
	0,6	0,383	0,333	0,283	0,233	0,183	0,133	0,083	0,033
	0,7	0,412	0,362	0,312	0,262	0,212	0,162	0,112	0,062
	0,8	0,441	0,391	0,341	0,291	0,241	0,191	0,141	0,091

* При применении естественной (ЕВ) и механической (МВ) вентиляции в рассматриваемом здании. ** Для обеспечения заданных значений ($k_{об} + k_{вент}$) требуется увеличить коэффициент эффективности утилизатора теплоты.

Средняя расчётная мощность отопительного прибора $Q_{ср}$, Вт/шт.

табл. 3

Тип	$k_{эф}$, доля	Для $k_{об} + k_{вент}$, Вт/(м ³ ·°C)							
		0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
ЕВ	0	1277	1138	998	858	719	... **	... **	... **
МВ	0	456	320	180	40	20	... **	... **	... **
	0,4	787	647	508	368	228	89	68	... **
	0,5	868	729	589	450	310	171	31	10
	0,6	950	811	671	531	392	252	113	92
	0,7	1032	892	753	613	474	334	194	55
	0,8	1114	974	834	695	555	416	276	137

Расчётная мощность системы отопления Q_{co} , кВт

табл. 4

Тип	$k_{эф}$, доля	Для $k_{об} + k_{вент}$, Вт/(м ³ ·°C)							
		0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
ЕВ	0	409	364	319	275	230	... **	... **	... **
МВ	0	146	102	58	13	6	... **	... **	... **
	0,4	252	207	162	118	73	28	22	... **
	0,5	278	233	189	144	99	55	10	3
	0,6	304	259	215	170	125	81	36	29
	0,7	330	286	241	196	152	107	62	18
	0,8	356	312	267	222	178	133	88	44

** См. табл. 2.

Результаты расчёта $Q_{ср}$ и Q_{co} для различных сочетаний ($k_{об} + k_{вент}$) и $k_{эф}$ по формулам (5) и (6) приведены в табл. 3 и 4. Чем больше в рассматриваемом здании коэффициент эффективности утилизации теплоты $k_{эф}$, тем больше будет расчётная мощность системы отопления при одном и том же требуемом суммарном значении ($k_{об} + k_{вент}$). Полученные в табл. 3 и 4 результаты являются частью исходных данных, необходимых при проведении расчётного обоснования конструкции системы отопления: одно- или двухтрубная; стояковая, горизонтальная или лучевая; с секционными либо панельными радиаторами, конвекторами, тёплыми полами или «тёплыми плитами»; водяная или электрическая и др.

Чем выше класс энергосбережения, тем меньше имеется вариантов сочетания типовых энергосберегающих мероприятий, не включающих использование утилизации теплоты удаляемого воздуха

Например, при $Q_{ср} < 400$ Вт/шт. может быть нерационально применение некоторых типов радиаторов и конвекторов, ввиду ограниченности их типоразмерного ряда [10], низких скоростей движения теплоносителя в трубопроводах и его требуемого температурного перепада. ●

1. Анянцев А.И., Лобов О.И., Рымаров А.Г. Основные причины несоответствия фактического уровня тепловой защиты наружных стен современных зданий нормативным требованиям // Промышленное и гражданское строительство, 2016. №11. С. 67–71.
2. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Перспективы повышения энергетической эффективности жилых зданий в России // Вестник МГСУ, 2011. №3. С. 192–200.
3. Гагарин В.Г., Коркина Е.А., Шмаров И.А. Теплопотупления и теплопотери через стеклопакеты с повышенными теплозащитными свойствами // Academia: Архитектура и строительство, 2017. №2. С. 106–110.
4. Малявина Е.Г. Выявление экономических целесообразностей теплозащиты наружных ограждений трёхэтажного здания // Жилищное строительство, 2016. №6. С. 13–15.
5. Наумов А.Л., Смага Г.А., Шилькрот Е.О. Определение годовых расходов энергии на эксплуатацию зданий // АВОК, 2010. №4. С. 16–24.
6. Самарин О.Д. Выбор оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий в общественных зданиях // Известия вузов. Строительство, 2007. №8. С. 116–118.
7. Самарин О.Д. Влияние энергосберегающих мероприятий на энергетический баланс здания // Энергосбережение и водоподготовка, 2007. №1. С. 58–59.
8. Изменение №1 к СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». — М.: Минстрой России, 2018. 17 с.
9. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализ. ред. СНиП 23-02–2003. — М.: Минрегион России, 2012. 95 с.
10. Крупнов Б.А., Крупнов Д.Б. Отопительные приборы, производимые в России и ближнем зарубежье. — М.: Изд-во АСВ, 2015. 176 с.

References — see page 80.

On the influence of methods of reducing heat consumption of systems of providing microclimate parameters on the characteristics of heating systems of residential buildings. Pp. 50–53.

Mikhail V. Bodrov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department; **Viktor Yu. Kuzin**, PhD, Associate Professor; **Alina F. Yulanova**, post-graduate student; **Elizaveta M. Prytkova**, magistrant, the Department of Heating and Ventilation, [Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering](#) (NNGASU)

1. A.I. Anan'ev, O.I. Lobov, A.G. Rymarov. *Osnovnye prichiny nesootvetstviya fakticheskogo urovnya teplovoj zashchity naruzhnykh sten sovremennykh zdaniy normativnym trebovaniyam* [The main reasons for the inconsistency of the actual level of thermal protection of the outer walls of modern buildings with regulatory requirements]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* ["Industrial and civil construction" Magazine]. 2016. No. 11. Pp. 67–71. [In Russian]
2. V.G. Gagarin, V.V. Kozlov. *Perspektivy povysheniya jenergeticheskoy jeffektivnosti zhilykh zdaniy v Rossii* [Prospects for increasing the energy efficiency of residential buildings in Russia]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2011. No. 3. Pp. 192–200. [In Russian]
3. V.G. Gagarin, E.A. Korkina, I.A. Shmarov. *Teplopostupleniya i teplopoteri cherez steklopaketny s povyshennymi teplozashchitnymi svojstvami* [Heat gain and heat loss through double-glazed windows with increased heat-shielding properties]. *Academia: Arhitektura i stroitel'stvo* ["The Academy: Architecture and Construction" Magazine]. 2017. No. 2. Pp. 106–110. [In Russian]
4. E.G. Maljavina. *Vyjavlenie jekonomicheskij celesoobraznoj teplozashchity naruzhnykh ograzhdenij trekhjetochnogo zdaniya* [Identification of economically feasible thermal protection of external enclosures of a three-story building]. *Zhilishhnoe stroitel'stvo* ["Housing construction" Magazine]. 2016. No. 6. Pp. 13–15. [In Russian]