

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 628.89

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.7.1161-1172

Роль сопротивления теплопередаче окна в формировании результирующей температуры на границе обслуживаемой зоны помещения

Елена Георгиевна Малявина, Сергей Сергеевич Ландырев

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Действующим нормативным документом требуемые сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций назначаются в зависимости от функционального назначения здания, конструкции и числа градусо-суток отопительного периода. Такая методика применяется ко всем наружным ограждающим конструкциям, в том числе и к окнам. Однако окна имеют сопротивление теплопередаче значительно ниже, чем массивные ограждения. Поэтому окна в большей степени, чем массивные ограждающие конструкции, влияют на формирование результирующей температуры на границе обслуживаемой зоны помещения.

Материалы и методы. Более низкая результирующая температура на границе обслуживаемой зоны помещения формируется при наиболее низкой температуре наружного воздуха, т.е. при расчетной температуре наиболее холодной пятидневки. Выяснено, что в такие периоды нормы результирующей температуры часто не выполняются. Приведена линия регрессии с помощью метода наименьших квадратов, описывающая связь между t_{5}^{92} и ГСОП для помещений ясельных и младших групп детских дошкольных учреждений в 30 городах РФ. Часть точек лежит ниже тренда. Именно для таких городов предлагается в процедуре нормирования сопротивления теплопередаче окна учитывать не только ГСОП, но и t_{5}^{92} .

Результаты. Определены результирующие температуры на границе обслуживаемой зоны помещений, которые показали, что оптимальные требования к результирующей температуре не выполняются никогда, а допустимые удовлетворяются при всех сопротивлениях теплопередаче окон и наружных стен, даже при нормируемых. Что касается локальной асимметрии результирующей температуры, то ее нормы удовлетворяются тоже всегда. Рассчитаны значения сопротивления теплопередаче окон, при которых удовлетворяются оптимальные результирующие температуры на границе обслуживаемой зоны помещений ясельных и младших групп детских дошкольных учреждений при сохранении базовых значений сопротивлений теплопередаче наружных стен. Значения сопротивления теплопередаче окон в большинстве случаев значительно превышают максимальное значение, принятое в СП 50.13330.

Выводы. Если выбор большой ширины окна диктуется только эстетическими причинами, следует применять окна с большим чем $0,8 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ сопротивлением теплопередаче, несмотря на более высокую стоимость окна.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: число градусо-суток отопительного периода, расчетная температура наиболее холодной пятидневки, функциональное назначение здания, расчет, температура внутренних поверхностей в помещении

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Малявина Е.Г., Ландырев С.С. Роль сопротивления теплопередаче окна в формировании результирующей температуры на границе обслуживаемой зоны помещения // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 7. С. 1161–1172. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.7.1161-1172

Автор, ответственный за переписку: Елена Георгиевна Малявина, email@list.ru.

The role of heat transfer resistance of a window in formation of resulting temperature at the boundary of habitable space in a room

Elena G. Malyavina, Sergey S. Landyrev

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. According to current regulations, values of required heat transfer resistance of external enclosing structures must comply with the purpose of a building, a structure itself and the number of degree days in a heating period. This technique applies to all external enclosing structures, including windows. However, windows have greatly lower heat transfer resistance than solid envelopes. Therefore, windows have a greater effect on temperature than solid envelopes at the boundary of habitable space in a room.

Materials and methods. The resulting temperature at the boundary of habitable space is lowest when outdoor temperature is lowest, or when temperature is lowest for five days in a row. It has been found out that during such periods standards

of resulting temperature are not met. A regression curve, made using the least squares method, is presented; it describes the relationship between t_s^{92} and the heating season degree-day (HSDD) for nursery and junior groups of preschool institutions in 30 cities of the Russian Federation. Some points are below the trendline. It is for such cities that it is proposed to take into account not only the HSDD, but also t_s^{92} when standards are set for resistance of windows to heat transfer.

Results. Resulting temperatures at the boundary of habitable space in a room are determined. They show that optimal requirements for resulting temperature are never met, while acceptable requirements are met for all values of heat transfer resistance of windows and exterior walls, even if resistance to heat transfer is normalized. As for the local asymmetry of resulting temperature, its standards are also met at all times. Values of resistance of windows to heat transfer are calculated to find those that correspond to optimal resulting temperatures at the boundary of habitable areas of rooms for nursery and junior groups at preschool institutions if basic values of resistance of exterior walls to heat transfer remain unchanged. In a large number of cases, values of resistance of windows to heat transfer greatly exceed the maximum value set by Construction Regulations 50.13330.

Conclusions. If the choice of a large value of window width is only explained by aesthetic reasons, the window's resistance to heat transfer must exceed $0.8 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$, despite higher costs of such windows.

KEYWORDS: number of degree-days in a heating period, design temperature of the coldest five-day period, purpose of a building, calculation, temperature of internal surfaces in a room

FOR CITATION: Malyavina E.G., Landyrev S.S. The role of heat transfer resistance of a window in formation of resulting temperature at the boundary of habitable space in a room. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(7):1161-1172. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.7.1161-1172 (rus.).

Corresponding author: Elena G. Malyavina, email@list.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Экономия энергии — приоритетное направление в строительстве. Важнейшей задачей при этом является выбор целесообразной теплозащиты зданий. Государство ужесточает требования к энергоэффективности зданий [1]. В то же время до сих пор некоторые авторы [2] считают увеличение теплозащиты основным и самым надежным средством повышения энергоэффективности зданий. Другие уповают на современные технологии биоклиматической архитектуры высокотехнологичных фасадных систем [3]. В работе [4] рассмотрена задача минимизации расходов на утепление и эксплуатацию здания. Для проведения исследования получена формула оптимальной толщины утепления в виде решения квадратного уравнения с параметрами, учитывающими стоимость: производства теплоты, утепления, фасадов, системы отопления, потерь, связанными с расходом денежных средств. Справедливо считается, что от уровня теплозащиты зависит стоимость возведения здания [5] и энергопотребление на его отопление и охлаждение [6]. Причем достаточно много авторов обращают внимание на поддержание допустимого микроклимата в православных храмах [7, 8]. Энергосбережение и энергоэффективность зданий не должны достигаться за счет невыполнения требуемых нормами параметров микроклимата [9–11].

От теплозащиты наружных ограждающих конструкций, регламентируемой СП¹, зависит не только энергопотребление инженерными системами, поддерживающими заданную температуру внутреннего воздуха. От нее также зависит формирование радиационной температуры по объему помещения, которая является составной частью результирующей

температуры, нормируемой ГОСТ², что рассмотрено в труде [12]. Расчету результирующей температуры помещения посвящена публикация [13]. В результате выполненного исследования предложена новая зависимость, в которой весовые коэффициенты для температуры воздуха и средней радиационной температуры выражаются в виде полинома второго порядка функции от подвижности воздуха. Расчет параметров микроклимата в помещениях рассмотрен во многих работах [14–20].

Действующий в настоящее время СП¹ изменением № 1 внес серьезное ужесточение требований к сопротивлению теплопередаче окон жилых и общественных зданий, увеличив их так, что они лежат в интервале от $0,49$ до $0,8 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. А в детских дошкольных, лечебно-профилактических, общеобразовательных зданиях и интернатах диапазон сопротивлений теплопередаче окон остался на прежнем уровне, т.е. от $0,3$ до $0,8 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Никакими другими причинами, кроме экономических, оставление низких значений сопротивлений теплопередаче окон для муниципальных зданий объяснить нельзя, хотя в эту категорию попадают самые уязвимые по здоровью люди.

В то же время следует обратить внимание на то, что указанные детские дошкольные, лечебно-профилактические, общеобразовательные здания и интернаты имеют несколько отличающиеся друг от друга нормы результирующей температуры. В табл. 1 приведены минимальные нормы результирующей температуры на границе обслуживаемой зоны по требованиям ГОСТ².

Так, для детских дошкольных учреждений выделяются отдельные нормы результирующей температуры для ясельных и младших групп, а также

¹ СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003. С Изменениями № 1 и 2.

² ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.

Табл. 1. Минимальные нормы результирующей температуры в обслуживаемой зоне помещений

Table 1. Minimum standards of resulting temperature in habitable space of a room

Жилые комнаты Habitable rooms				Детские дошкольные учреждения Preschool institutions				Медицинские организации и интернаты Medical organizations and boarding schools				Административные помещения, помещения общеобразовательных учреждений, °C Office premises, premises of educational institutions, °C	
в районах с температурой наиболее холодной пятидневки выше –31 °C in areas with the coldest five-day temperature above –31 °C		в районах с температурой наиболее холодной пятидневки –31 °C и ниже in areas with the coldest five-day temperature –31 °C and below		ясельных и младших групп, °C nursery and junior groups, °C		средних и дошкольных групп, °C secondary and preschool groups, °C		больничных палат, °C hospital ward, °C		кабинетов врачей, процедурных, °C doctors' offices, treatment rooms, °C			
Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable	Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable	Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable	Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable	Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable	Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable	Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable
19	17	20	19	20	19	18	17	19	17	19	19	18	17

для средних и дошкольных групп. В медицинских учреждениях следует различать больничные палаты, отнесенные к категории 1 общественных зданий, и кабинеты врачей, процедурные, входящие в категорию 5. Административные помещения и помещения общеобразовательных учреждений относятся к категории 2. Для жилых комнат нормы результирующей температуры индивидуальны для населенных пунктов с различной температурой наиболее холодной пятидневки.

Что касается локальной асимметрии результирующей температуры, то она нормируется для помещений различного функционального назначения одинаковой: для оптимальных условий не большей чем 2,5 °C, а для допустимых — не более 3,5 °C.

Понятно, что одинаковые нормы результирующей температуры не означают, что для помещений с разными нормами сопротивления теплопередаче стен, покрытий и перекрытий и особенно окон фактические значения результирующей температуры на границе обслуживаемой зоны окажутся одинаковыми.

Цель исследования — выяснение сопротивлений теплопередаче окон в районах с различным числом градусо-суток отопительного периода и расчетной температурой наиболее холодной пятидневки, при которых будут обеспечены нормы результирующей температуры на границе обслуживаемой зоны помещения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Чтобы в дальнейшем правильно рассчитать результирующие температуры на границе обслуживаемой

зоны следует определить базовые (по табл. 3 СП¹) и нормируемые (с понижающим коэффициентом 0,63 к базовому значению) сопротивления теплопередаче для наружных стен и окон для зданий различного функционального назначения. Они зависят от температуры внутреннего воздуха. Эти температуры, выбранные по ГОСТ² как минимальные из оптимальных значений, равны: для жилых комнат 20 °C в районах с температурой наиболее холодной пятидневки выше –31 °C, 21 °C ниже –31 °C; для ясельных и младших групп детских дошкольных учреждений 21 °C; для средних и дошкольных групп 19 °C; для больничных палат, а также кабинетов врачей и процедурных 20 °C; для образовательных учреждений, а также для административных помещений 19 °C. В табл. 2 для 9 городов РФ приведены значения градусо-суток отопительного периода (ГСОП) для указанных выше значений температуры внутреннего воздуха, а в табл. 3 — сопротивлений теплопередаче наружных ограждающих конструкций с учетом ГСОП и функционального назначения зданий.

Понятно, что наименьшие значения результирующей температуры на границе обслуживаемой зоны, в соответствии с ГОСТ² отстоящей от периметра наружных ограждающих конструкций на 0,5 м, сформируются при расчетной зимней температуре наружного воздуха по равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92. На возражение, что расчетная температура бывает очень редко, можно заметить, что расчетная температура является средней за 5 последовательных

Табл. 2. Число градусо-суток отопительного периода
Table 2. Number of degree-days in a heating period

Город City	ГСОП, °С·сут, для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С HSDD, °C·day for a period with an average daily outdoor temperature of no more than 8 °C			ГСОП, °С·сут, для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 10 °С HSDD, °C·day, for a period with an average daily outdoor temperature of no more than 10 °C		
	$t_{B/V} = 19\text{ °C}$	$t_{B/V} = 20\text{ °C}$	$t_{B/V} = 21\text{ °C}$	$t_{B/V} = 19\text{ °C}$	$t_{B/V} = 20\text{ °C}$	$t_{B/V} = 21\text{ °C}$
Краснодар Krasnodar	2380	2526	2672	2574	2739	2905
Астрахань Astrakhan	3250	3415	3580	3384	3564	3744
Москва Moscow	4325	4529	4733	4507	4729	4951
Пермь Perm	5490	5715	5940	5663	5904	6145
Новосибирск Novosibirsk	5972	6194	6416	6096	6408	6648
Ханты-Мансийск Khanty-Mansiysk	6872	7121	7370	7022	7287	7552
Воркута Vorkuta	8493	8791	9089	8658	8975	9290
Якутск Yakutsk	10 375	10 637	10 899	10 085	10 349	10 613
Оймякон Oymyakon	12 199	12 475	12 751	12 352	12 644	12 936

Табл. 3. Сопротивления теплопередаче, м²·°C/Вт, наружных ограждающих ограждений для зданий различного функционального назначения
Table 3. Heat transfer resistance, m²·°C/W, external fencing fences for buildings of various functional purposes

Город City	Для жилых комнат For habitable rooms			Для административных помещений For office premises			Для ясельных и младших групп детских дошкольных учреждений For nursery and junior groups of preschool institutions			Для средних и дошкольных групп детских дошкольных учреждений и общеобразовательных учреждений For secondary and pre-school groups of preschool institutions and secondary education institutions			Для больничных палат и кабинетов врачей, процедурных For hospital wards and doctors' offices, treatment rooms		
	базовое стен R_o^{TP} basic resistance of walls R_o^{ir}	нормируемое стен $R_o^{норм}$ standardized resistance of walls R_o^{stand}	базовое окон R_o^{TP} basic resistance of windows R_o^{ir}	базовое стен R_o^{TP} basic resistance of walls R_o^{ir}	нормируемое стен $R_o^{норм}$ standardized resistance of walls R_o^{stand}	базовое окон R_o^{TP} basic resistance of windows R_o^{ir}	базовое стен R_o^{TP} basic resistance of walls R_o^{ir}	нормируемое стен $R_o^{норм}$ standardized resistance of walls R_o^{stand}	базовое окон R_o^{TP} basic resistance of windows R_o^{ir}	базовое стен R_o^{TP} basic resistance of walls R_o^{ir}	нормируемое стен $R_o^{норм}$ standardized resistance of walls R_o^{stand}	базовое окон R_o^{TP} basic resistance of windows R_o^{ir}	базовое стен R_o^{TP} basic resistance of walls R_o^{ir}	нормируемое стен $R_o^{норм}$ standardized resistance of walls R_o^{stand}	базовое окон R_o^{TP} basic resistance of windows R_o^{ir}
Краснодар Krasnodar	2,284	1,439	0,527	1,914	1,206	0,517	2,417	1,522	0,350	2,301	1,542	0,343	2,359	1,580	0,355

Окончание табл. 3 / End of the Table 3

Город City	Для жилых комнат For habitable rooms			Для административных помещений For office premises			Для ясельных и младших групп детских дошкольных учреждений For nursery and junior groups of preschool institutions			Для средних и дошкольных групп детских дошкольных учреждений и общеобразовательных учреждений For secondary and pre-school groups of preschool institutions and secondary education institutions			Для больничных палат и кабинетов врачей, процедурных For hospital wards and doctors' offices, treatment rooms		
	базовое стен R_o^{TP} basic resistance of walls R_o^{ir}	нормируемое стен $R_o^{норм}$ standardized resistance of walls R_o^{stand}	базовое окон R_o^{TP} basic resistance of windows R_o^{ir}	базовое стен R_o^{TP} basic resistance of walls R_o^{ir}	нормируемое стен $R_o^{норм}$ standardized resistance of walls R_o^{stand}	базовое окон R_o^{TP} basic resistance of windows R_o^{ir}	базовое стен R_o^{TP} basic resistance of walls R_o^{ir}	нормируемое стен $R_o^{норм}$ standardized resistance of walls R_o^{stand}	базовое окон R_o^{TP} basic resistance of windows R_o^{ir}	базовое стен R_o^{TP} basic resistance of walls R_o^{ir}	нормируемое стен $R_o^{норм}$ standardized resistance of walls R_o^{stand}	базовое окон R_o^{TP} basic resistance of windows R_o^{ir}	базовое стен R_o^{TP} basic resistance of walls R_o^{ir}	нормируемое стен $R_o^{норм}$ standardized resistance of walls R_o^{stand}	базовое окон R_o^{TP} basic resistance of windows R_o^{ir}
Астрахань Astrakhan	2,59	1,635	0,589	2,175	1,370	0,577	2,710	1,707	0,419	2,584	1,628	0,404	2,647	1,668	0,417
Москва Moscow	2,98	1,881	0,656	2,497	1,573	0,646	3,133	2,099	0,505	2,977	2,266	0,488	3,055	1,925	0,505
Пермь Perm	3,48	2,331	0,727	2,847	1,794	0,704	3,547	2,235	0,596	3,382	1,826	0,575	3,466	2,184	0,593
Новосибирск Novosibirsk	3,65	2,297	0,734	2,992	1,885	0,729	3,727	2,348	0,621	3,534	2,367	0,605	3,643	2,295	0,620
Ханты-Мансийск Khanty-Mansiysk	3,98	2,507	0,741	3,262	2,055	0,739	4,043	2,547	0,669	4,558	2,871	0,651	4,050	2,552	0,664
Воркута Vorkuta	4,581	2,885	0,761	3,748	2,361	0,755	4,651	2,930	0,727	4,439	2,791	0,716	4,541	2,861	0,724
Якутск Yakutsk	5,215	3,285	0,779	4,312	2,717	0,774	5,114	3,222	0,772	4,930	3,106	0,752	5,022	3,164	0,759
Оймякон Oymyakon	5,6	3,528	0,8	4,8	3,024	0,8	5,6	3,528	0,8	5,6	3,528	0,8	5,6	3,528	0,8

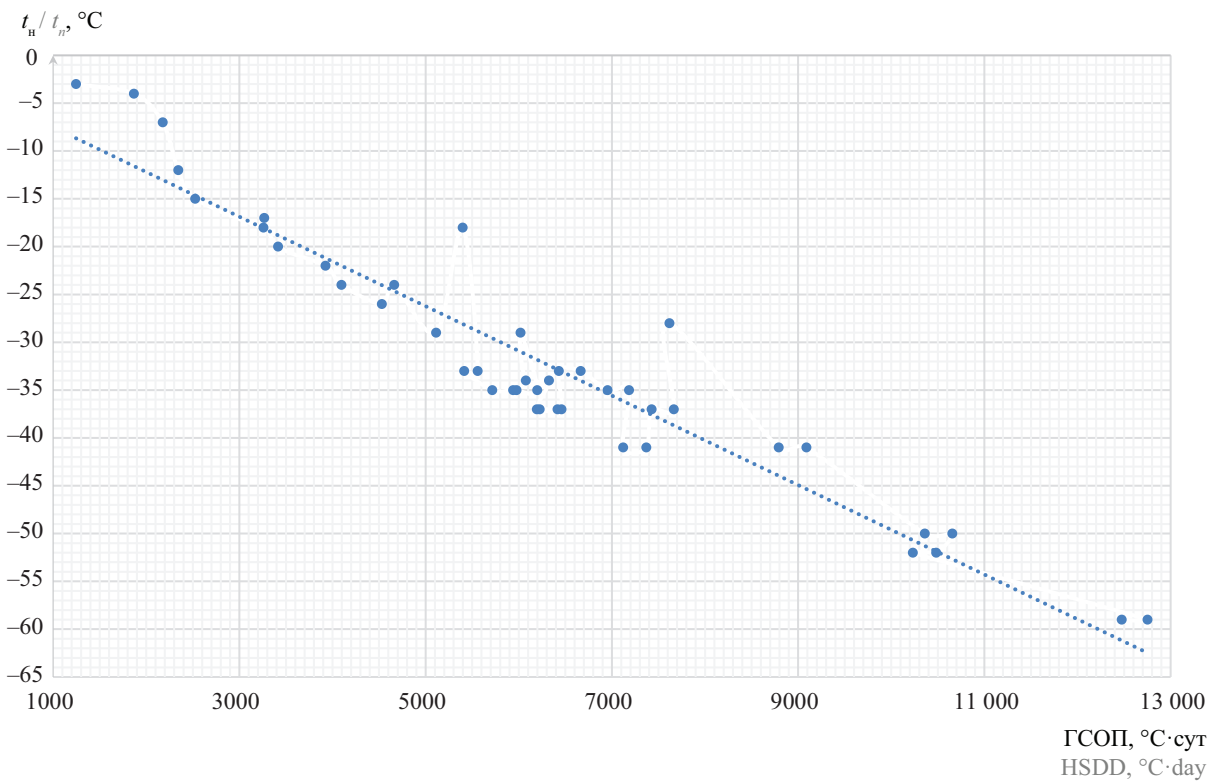
суток. Для формирования результирующей температуры в помещении важна текущая температура наружного воздуха. Естественно, что текущая температура и даже средняя за одни сутки встречаются значительно чаще. Кроме того, нормы результирующей температуры помещения должны выполняться всегда и при расчетной температуре наружного воздуха, в частности.

До августа 1995 г. сопротивления теплопередаче окон нормировались в зависимости от расчетной температуры наиболее холодной пятидневки, что в большей степени учитывало формирование микроклиматических показателей на границе обслуживаемой зоны помещения. Поэтому предлагается, сохранив

существующий подход к нормированию базового сопротивления теплопередаче окон в зависимости от ГСОП, дополнить процедуру учетом расчетной температуры наиболее холодной пятидневки t_5^{92} .

Для начала были рассмотрены данные разброса температуры пятидневки t_5^{92} от ГСОП для 30 городов РФ. Этот разброс представлен на рисунке.

Проведена линия регрессии с помощью метода наименьших квадратов, описывающая связь между t_5^{92} и ГСОП. Рисунок, для примера построенный для жилых комнат, свидетельствует о том, что часть городов имеет t_5^{92} ниже тренда, а часть — выше. Точки, лежащие выше тренда, как правило, относятся к прибрежным городам. Для таких городов



Разброс температуры наиболее холодной пятидневки от линии тренда в зависимости от фактического ГСОП для 30 городов РФ

Temperature differential for the coldest five-day period relative to the trendline depending on the actual HSDD for 30 cities of the Russian Federation

Табл. 4. Основные климатические показатели для 9 городов РФ

Table 4. Main climatic characteristics for 9 cities of the Russian Federation

Город City	Расчетная температура наиболее холодной пятидневки $t_5^{92}, ^\circ\text{C}$ Design temperature of the coldest five-day period $t_5^{92}, ^\circ\text{C}$	Трендовое значение температуры наиболее холодной пятидневки $t_5^{92}, ^\circ\text{C}$, по формуле (1) The trend value of temperature for the coldest five-day period $t_5^{92}, ^\circ\text{C}$ according to the formula (1)	Разность расчетного и трендового значений наиболее холодной пятидневки $t_5^{92}, ^\circ\text{C}$ The difference between design and trend values for the coldest five-day period $t_5^{92}, ^\circ\text{C}$
Краснодар Krasnodar	-15	-15,00	0
Астрахань Astrakhan	-20	-19,01	0,99
Москва Moscow	-26	-24,04	1,96
Пермь Perm	-35	-30,40	4,60
Новосибирск Novosibirsk	-37	-32,55	4,45
Ханты-Мансийск Khanty-Mansiysk	-41	-36,85	4,15
Воркута Vorkuta	-41	-44,61	-3,61
Якутск Yakutsk	-52	-52,78	-0,78
Оймякон Oymyakon	-59	-61,13	-2,13

достаточна процедура нормирования сопротивления теплопередаче окна по ГСОП, т.е. в соответствии с табл. 3 СП 50.13330.2012. Нас в данном случае интересуют города, чьи t_5^{92} лежат ниже тренда, т.е. в расчетный период в этих городах холоднее, чем в среднем по территории РФ. Именно для таких городов предлагается в процедуре нормирования сопротивления теплопередаче окна учитывать не только ГСОП, но и t_5^{92} . Линейное уравнение (для жилых комнат), представленное на рисунке, прямой тренд температуры наиболее холодной пятидневки в зависимости от числа градусо-суток отопительного периода, имеет вид:

$$t_5^{92} = -15 + (-45/9974) \cdot (\text{ГСОП} - 2343), \quad (1)$$

где $-45 = -60 - (-15)$ — разность значений температуры наиболее холодной пятидневки, соответствующих нижней и верхней точкам линии тренда, °С; $9974 = 12\,500 - 2526$ — разность значений ГСОП, соответствующих нижней и верхней точкам линии тренда, °С·сут; ГСОП — число градусо-суток отопительного периода, соответствующее рассматриваемому помещению в определенном городе, °С·сут.

В табл. 4 для нескольких городов РФ приведены расчетные и трендовые значения t_5^{92} .

Положительные значения разности расчетного и трендового значений t_5^{92} означают, что расчетная температура наиболее холодной пятидневки ниже трендовой. Разности, приведенные со знаком минус, относятся к городам с более высокой t_5^{92} , чем трендовое значение. Превышение означает, что требуемое сопротивление теплопередаче окна должно быть принято в соответствии с табл. 3 СП³. Для остальных городов следует повысить сопротивление теплопередаче окна.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В формировании результирующей температуры на границе обслуживаемой зоны помещений, конечно, участвуют все массивные ограждающие конструкции как наружные, так и внутренние. И при расчете результирующей температуры в какой-либо точке помещения необходимо учитывать температуру внутренних поверхностей всех ограждений. Однако в связи с тем, что сопротивление теплопередаче окон значительно ниже сопротивления теплопередаче других наружных ограждений, следует полагать, что влияние окон наибольшее. Причем, чем больше площадь окна, тем ниже результирующая температура [12].

Для того чтобы определить величину надбавки к требуемому сопротивлению теплопередаче на каждый градус превышения реальной температуры наиболее холодной пятидневки над средним значением, прежде всего, были найдены значения ра-

диационной температуры и локальной асимметрии радиационной температуры на границе обслуживаемой зоны при базовых и нормативных сопротивлениях теплопередаче наружных стен и окон в рядовых комнатах промежуточных этажей. В табл. 5 представлены значения результирующей температуры и локальной асимметрии результирующей температуры на границе обслуживаемой зоны в рядовых помещениях промежуточного этажа ясельных и младших групп детских дошкольных учреждений.

Указанные значения упомянутых параметров приведены на среднем участке границы обслуживаемой зоны длиной 1 м напротив середины окна на высоте 1,7 м от пола. Принятая высота от пола продиктована рекомендациями ГОСТ². То есть речь не идет об одной точке напротив окна, где результирующая температура наименьшая, а локальная асимметрия радиационной температуры наибольшая.

Таблица показывает, что оптимальные требования к результирующей температуре не выполняются никогда, а допустимые удовлетворяются при всех сопротивлениях теплопередаче окон и наружных стен, даже при нормируемых. Что касается локальной асимметрии результирующей температуры, то ее нормы удовлетворяются тоже всегда. Из табл. 5 следует, что изменение сопротивлений теплопередаче наружных стен от базовых до нормируемых приводит к изменению результирующей температуры меньше чем на 0,3 °С. Это позволяет сделать вывод о преимущественном влиянии размеров и сопротивления теплопередаче окна, так как оно существенно ниже сопротивлений теплопередаче стен.

Поэтому были рассчитаны значения сопротивления теплопередаче окон, при которых удовлетворяются оптимальные результирующие температуры на границе обслуживаемой зоны помещений ясельных и младших групп детских дошкольных учреждений при сохранении базовых значений сопротивлений теплопередаче наружных стен. Результаты расчетов приведены в табл. 6.

Указанные значения сопротивления теплопередаче окон в большинстве случаев значительно превышают максимальное значение, принятое в СП 50.13330. Прежде всего обращают на себя внимание большие цифры требований к сопротивлению теплопередаче окон для выполнения оптимальных норм результирующей температуры даже при базовых сопротивлениях теплопередаче стен. Оптимальные нормы результирующей температуры на границе обслуживаемой зоны при расчетной температуре наружного воздуха при нормируемых сопротивлениях теплопередаче стен в холодный период года не удовлетворяются тем более, так как нормируемые сопротивления стен меньше базовых.

Что касается допустимых требований к результирующей температуре, то видно, что практически

³ СП 131.13330.2020. Строительная климатология. СНиП 23-01-99*.

Табл. 5. Результирующие температуры и локальные асимметрии результирующей температуры при базовых значениях сопротивлений теплопередаче наружных стен и окон (над чертой) и при нормируемых значениях сопротивлений теплопередаче наружных стен и базовых окон (под чертой)

Table 5. Resulting temperatures and local asymmetries of the resulting temperature at the base values of the heat transfer resistances of the exterior walls and windows (above the line) and at the normalized values of the heat transfer resistances of the exterior walls and base windows (below the line)

Город City	При ширине окна 1,5 м For the window width of 1.5 m		При ширине окна 3 м For the window width of 3 m	
	результирующей температуры t_R , °C resulting temperature, t_R , °C	локальной асимметрии результирующей температуры local asymmetry of resulting temperature	результирующей температуры t_R , °C resulting temperature t_R , °C	локальной асимметрии результирующей температуры local asymmetry of resulting temperature
Краснодар Krasnodar	19,135/18,975	2,035/2,17	18,81/18,73	2,465/2,485
Астрахань Astrakhan	19,165/18,99	1,965/2,135	18,835/18,77	2,42/2,41
Москва / Moscow	19,215/19,045	1,87/2,045	18,905/18,835	2,31/2,295
Пермь / Perm	19,315/19,005	1,91/2,09	18,875/18,8	2,35/2,34
Новосибирск Novosibirsk	19,2/19,02	1,885/2,065	18,89/18,815	2,32/2,31
Ханты-Мансийск Khanty-Mansiysk	19,185/19,02	1,93/2,07	18,89/18,815	2,33/2,31
Воркута / Vorkuta	19,31/19,16	1,74/1,87	19,025/18,95	2,115/2,12
Якутск / Yakutsk	19,21/19,05	1,075/2,04	18,885/18,82	2,35/2,32
Оймякон Oymyakon	19,17/19,015	1,985/2,12	18,825/18,765	2,465/2,45

Табл. 6. Сопротивления теплопередаче окон, м²·°C/Вт, обеспечивающие оптимальные при базовых сопротивлениях теплопередаче стен и допустимые при базовых сопротивлениях теплопередаче стен над чертой и нормируемых под чертой требования к результирующей температуре на границе обслуживаемой зоны при расчетной температуре наружного воздуха для холодного периода года в ясельных и младших группах детских дошкольных учреждений

Table 6. Values of window resistance to heat transfer, m²·°C/W, ensuring (1) optimal requirements for resulting temperature at the boundary of habitable space, and (2) acceptable requirements for resulting temperature at the boundary of habitable space for basic cases of resistance of walls to heat transfer above the line and standardized resistance values below the line for design outdoor temperature during cold seasons, designed for rooms of nursery and junior groups of preschool institutions

Город City	При ширине окна 1,5 м With a window width of 1.5 m		При ширине окна 2 м With a window width of 2 m		При ширине окна 2,5 м With a window width of 2.5 m		При ширине окна 3 м With a window width of 3 m	
	Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable	Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable	Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable	Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable
Краснодар Krasnodar	1,70	0,35/0,35	1,8	0,35/0,39	1,9	0,38/0,41	2,0	0,4/0,42
Астрахань Astrakhan	2,0	0,419/0,419	2,1	0,419/0,45	2,3	0,43/0,45	2,5	0,45/0,50
Москва / Moscow	2,4	0,505/0,505	2,6	0,505/0,51	2,8	0,505/0,54	3,0	0,53/0,57
Пермь / Perm	3,0	0,596/0,596	3,05	0,596/0,596	3,1	0,6/0,65	3,2	0,65/0,7
Новосибирск Novosibirsk	3,646	0,621/0,621	3,646	0,621/0,65	3,646	0,63/0,7	3,646	0,65/0,72

Окончание табл. 6 / End of the Table 6

Город City	При ширине окна 1,5 м With a window width of 1.5 m		При ширине окна 2 м With a window width of 2 m		При ширине окна 2,5 м With a window width of 2.5 m		При ширине окна 3 м With a window width of 3 m	
	Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable	Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable	Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable	Оптимальные Optimal	Допустимые Acceptable
Ханты-Мансийск Khanty-Mansiysk	3,98	0,669/0,669	3,980	0,669/0,7	3,980	0,669/0,72	3,980	0,7/0,75
Воркута / Vorkuta	4,58	0,727/0,727	4,581	0,727/0,727	4,581	0,727/0,727	4,581	0,727/0,75
Якутск / Yakutsk	3,5	0,772/0,772	3,8	0,772/0,8	4,0	0,772/0,85	4,50	0,82/0,9
Оймякон Oymyakon	3,6	0,8/0,8	3,8	0,8/0,9	4,5	0,85/0,95	4,5	0,9/1,0

для всех выбранных городов требования к сопротивлениям теплопередаче ужесточаются, но не на много.

Поэтому данные из таблицы, превышающие 0,8 м²·°С/Вт, следует рассматривать как желательные, но по экономическим причинам в настоящее время нецелесообразные. Кроме того, в помещениях ясельных и младших групп детских дошкольных учреждений следует применять здания с базовым сопротивлением теплопередаче стен, особенно с окнами большой ширины. А в районах с температурой наиболее холодной пятидневки –31 °С и ниже при новом строительстве и реконструкции зданий всегда сооружать стены с базовым сопротивлением теплопередаче, даже при удовлетворении норм энергопотребления на отопление и вентиляцию здания при более низком значении сопротивления теплопередаче. В то же время, если выбор большой ширины окна диктуется только эстетическими причинами, необходимо применять окна с большим чем 0,8 м²·°С/Вт сопротивлением теплопередаче, несмотря на более высокую стоимость окна.

Нормы сопротивления теплопередаче окна для жилых помещений более жесткие по сравнению с окнами ясельных и младших групп детских дошкольных учреждений. В жилых комнатах рас-

четная температура внутреннего воздуха меняется от 20 до 21 °С при опускании расчетной температуры наиболее холодной пятидневки ниже –31 °С. Поэтому оптимальные нормы результирующей температуры резко возрастают с таким переходом.

В административных помещениях нормы сопротивления теплопередаче окон такие же, как в жилье. Однако расчетной температурой внутреннего воздуха является температура 19 °С, что снижает требования к результирующей температуре, но в то же время нормы сопротивления теплопередаче наружных стен ниже, чем для жилья и детских дошкольных учреждений, это требует более высокого сопротивления теплопередаче окон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Отсутствие проверки на стадии проектирования требований ГОСТ² приводит к невыполнению этих норм.

Предлагается при нормировании требуемого сопротивления теплопередаче окон учитывать не только градусо-сутки отопительного периода, как это принято сейчас, а и расчетную температуру наружного воздуха для холодного периода года.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Борисов К.Б.* О новых требованиях энергоэффективности зданий. Проект приказа Минстроя России. Ч. 1. Положительные и отрицательные аспекты // Энергосбережение. 2022. № 7. С. 36–41. EDN GXWULG.

2. *Горишков А.С.* Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций зданий. Ч. 2. Российские принципы нормирования // Энергосбережение. 2017. № 8. С. 33–39. EDN ZUGGLV.

3. *Генералова Е.М.* Роль фасадных систем в борьбе за энергоэффективность // АВОК: Вентиля-

ция, отопление, кондиционирование воздуха, тепло-снабжение и строительная теплофизика. 2017. № 8. С. 48–53. EDN ZVHVQJ.

4. *Окунев А.Ю.* Оптимизация утепления наружных стен на примере частных жилых домов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 1. С. 126–139. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-1-126-139. EDN VUHEQK.

5. *Yelisetti S., Saini V.K., Kumar R., Lamba R., Saxena A.* Optimal energy management system for residential buildings considering the time of use price with

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 19. Выпуск 7, 2024
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 19. Issue 7, 2024

swarm intelligence algorithms // Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 59. P. 105062. DOI: 10.1016/j.job. 2022.105062

6. Lu J., Xue Y., Wang Z., Fan Y. Optimized mitigation of heat loss by avoiding wall-to-floor thermal bridges in reinforced concrete buildings // Journal of Building Engineering. 2020. Vol. 30. P. 101214. DOI: 10.1016/j.job.2020.101214

7. Кочев А.Г., Соколов М.М., Кочева Е.А., Федотов А.А. Практическое использование альтернативных энергетических ресурсов в православных храмах // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2019. № 7 (727). С. 78–85. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-727-7-78-85. EDN PGDICY.

8. Старкова Л.Г., Морева Ю.А., Новоселова Ю.Н. Оптимизация микроклимата в православном храме методом числового моделирования воздушных потоков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Т. 18. № 3. С. 53–59. DOI: 10.14529/build180308. EDN XYKLOX.

9. Karpenko A.V., Petrova I.Yu. The conceptual model of neuro-fuzzy regulation of the microclimate in the room // IFAC-PapersOnLine. 2018. Vol. 51. Issue 30. Pp. 636–640. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.11.229

10. Teitelbaum E., Meggers F. Expanded psychrometric landscapes for radiant cooling and natural ventilation system design and optimization // Energy Procedia. 2017. Vol. 122. Pp. 1129–1134. DOI: 10.1016/j.egypro. 2017.07.436

11. Malz S., Steininger P., Dawoud B., Krenkel W., Steffens O. On the development of a building insulation using air layers with highly reflective interfaces // Energy and Buildings. 2021. Vol. 236. P. 110779. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.110779

12. Малявина Е.Г., Ландырев С.С. Зависимость параметров микроклимата на границе обслуживаемой зоны помещения от размеров окна // Жилищное строительство. 2022. № 8. С. 44–52. DOI: 10.31659/0044-4472-2022-8-44-52. EDN DXSVPP.

13. Санкина Ю.Н., Рябова Т.В., Сулин А.Б., Деими-Даитбаяз М., Лысёв В.И. Обоснование параметра результирующей комфортной температуры // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 28–33. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-28-33. EDN AQIQY.

14. De Luca F., Naboni E., Lobaccaro G. Tall buildings cluster form rationalization in a Nordic climate by factoring in indoor-outdoor comfort and energy // Energy and Buildings. 2021. Vol. 238. P. 110831. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.110831

15. Teitelbaum E., Meggers F. Expanded psychrometric landscapes for radiant cooling and natural ventilation system design and optimization // Energy Procedia. 2017. Vol. 122. Pp. 1129–1134. DOI: 10.1016/j.egypro. 2017.07.436

16. Cannistraro M., Trancossi M. Enhancement of indoor comfort in the presence of large glazed radiant surfaces by a local heat pump system based on Peltier cells // Thermal Science and Engineering Progress. 2019. Vol. 14. P. 100388. DOI: 10.1016/j.tsep. 2019.100388

17. Zhang S., Zhu N., Lv S. Human response and productivity in hot environments with directed thermal radiation // Building and Environment. 2021. Vol. 187. P. 107408. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.107408

18. Forouzandeh A. Prediction of surface temperature of building surrounding envelopes using holistic microclimate ENVI-met model // Sustainable Cities and Society. 2021. Vol. 70. P. 102878. DOI: 10.1016/j.scs.2021.102878

19. Frolova A.A., Landyrev S.S. Microclimate parameters evaluation for spaces with windows of different thermal protection // Light & Engineering. 2021. Vol. 29. Issue 5. Pp. 61–67. DOI: 10.33383/2021-078

20. Zhang L., Yu X., Lv Q., Cao F., Wang X. Study of transient indoor temperature for a HVAC room using a modified CFD method // Energy Procedia. 2019. Vol. 160. Pp. 420–427. DOI: 10.1016/j.egypro. 2019.02.176

Поступила в редакцию 24 марта 2024 г.

Принята в доработанном виде 24 марта 2024 г.

Одобрена для публикации 4 июня 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Елена Георгиевна Малявина — кандидат технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 636414, Scopus: 56646619900, ResearcherID: ABC-7206-2021, ORCID: 0000-0002-5832-8530; email@list.ru;

Сергей Сергеевич Ландырев — аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 878594, ORCID: 0000-0001-9302-907X; lansenrser@mail.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Borisov K.B. On the new requirements for the energy efficiency of buildings. Draft order of the Ministry of Construction of Russia. Part 1. Positive and negative aspects. *Energoberezhenie*. 2022; 7:36-41. EDN GXWULG. (rus.).
2. Gorshkov A.S. Thermal characteristics of the enclosing structures of buildings. Part 2. Russian principles of rationing. *Energoberezhenie*. 2017; 8:33-39. EDN ZUGGLV. (rus.).
3. Generalova E.M. The role of facade systems in the struggle for energy efficiency. *AVOK: Heating, Ventilation, Air Conditioning, District Heating, Building Physics Journal*. 2017; 8:48-53. EDN ZVHVQJ. (rus.).
4. Okunev A.Yu. Optimization of external wall insulation in private buildings. *Journal of Construction and Architecture*. 2019; 21(1):126-139. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-1-126-139. EDN VUHEQK. (rus.).
5. Yelisetti S., Saini V.K., Kumar R., Lamba R., Saxena A. Optimal energy management system for residential buildings considering the time of use price with swarm intelligence algorithms. *Journal of Building Engineering*. 2022; 59:105062. DOI: 10.1016/j.jobee.2022.105062
6. Lu J., Xue Y., Wang Z., Fan Y. Optimized mitigation of heat loss by avoiding wall-to-floor thermal bridges in reinforced concrete buildings. *Journal of Building Engineering*. 2020; 30:101214. DOI: 10.1016/j.jobee.2020.101214
7. Kochev A.G., Sokolov M.M., Kocheva E.A., Fedotov A.A. Practical use of alternative energy resources in orthodox temples. News of Higher Educational Institutions. *Construction*. 2019; 7(727):78-85. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-727-7-78-85. EDN PGDICY. (rus.).
8. Starkova L.G., Moreva Yu.A., Novoselova Yu.N. Optimization of microclimate in an orthodox church by numerical simulation of air flow. *Bulletin of SUSU. Series "Construction Engineering and Architecture"*. 2018; 18(3):53-59. DOI: 10.14529/build180308. EDN XYKLOX. (rus.).
9. Karpenko A.V., Petrova I.Yu. The conceptual model of neuro-fuzzy regulation of the microclimate in the room. *IFAC-PapersOnLine*. 2018; 51(30):636-640. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.11.229
10. Teitelbaum E., Meggers F. Expanded psychrometric landscapes for radiant cooling and natural ventilation system design and optimization. *Energy Procedia*. 2017; 122:1129-1134. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.07.436
11. Malz S., Steininger P., Dawoud B., Krenkel W., Steffens O. On the development of a building insulation using air layers with highly reflective interfaces. *Energy and Buildings*. 2021; 236:110779. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.110779
12. Malyavina E.G., Landyrev S.S. Dependence of the microclimate parameters at the boundary of the room serviced area on the size of the window. *Housing Construction*. 2022; 8:44-52. DOI: 10.31659/0044-4472-2022-8-44-52 EDN DXSVPP. (rus.).
13. Sankina Iu.N., Ryabova T.V., Sulin A.B., Deymi-Dashtebayaz M., Lysev V.I. Justification of the resulting comfortable temperature parameter. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2021; 1:28-33. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-28-33. EDN AQIQIY. (rus.).
14. De Luca F., Naboni E., Lobaccaro G. Tall buildings cluster form rationalization in a Nordic climate by factoring in indoor-outdoor comfort and energy. *Energy and Buildings*. 2021; 238:110831. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.110831
15. Teitelbaum E., Meggers F. Expanded psychrometric landscapes for radiant cooling and natural ventilation system design and optimization. *Energy Procedia*. 2017; 122:1129-1134. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.07.436
16. Cannistraro M., Trancossi M. Enhancement of indoor comfort in the presence of large glazed radiant surfaces by a local heat pump system based on Peltier cells. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2019; 14:100388. DOI: 10.1016/j.tsep.2019.100388
17. Zhang S., Zhu N., Lv S. Human response and productivity in hot environments with directed thermal radiation. *Building and Environment*. 2021; 187:107408. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.107408
18. Forouzandeh A. Prediction of surface temperature of building surrounding envelopes using holistic microclimate ENVI-met model. *Sustainable Cities and Society*. 2021; 70:102878. DOI: 10.1016/j.scs.2021.102878
19. Frolova A.A., Landyrev S.S. Microclimate parameters evaluation for spaces with windows of different thermal protection. *Light & Engineering*. 2021; 29(5):61-67. DOI: 10.33383/2021-078
20. Zhang L., Yu X., Lv Q., Cao F., Wang X. Study of transient indoor temperature for a HVAC room using a modified CFD method. *Energy Procedia*. 2019; 160:420-427. DOI: 10.1016/j.egypro.2019.02.176

Received March 24, 2024.

Adopted in revised form on March 24, 2024.

Approved for publication on June 4, 2024.

B I O N O T E S: **Elena G. Malyavina** — Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research**

University) (MGSU); 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 636414, Scopus: 56646619900, ResearcherID: ABC-7206-2021, ORCID: 0000-0002-5832-8530; email@list.ru;

Sergey S. Landyrev — postgraduate student of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 878594, ORCID: 0000-0001-9302-907X; lancerser@mail.ru.

*Contribution of the authors: all authors made an equivalent contribution to the publication.
The authors declare no conflict of interest.*