

Известия вузов. Строительство. 2022. № 10. С. 76–81.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (10): 76–81.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 69.028.2:536.24

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-76-81

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОКОННЫХ БЛОКОВ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ

Мария Вячеславовна Драница¹, Павел Сергеевич Пахомов¹,

Никита Евгеньевич Киреев¹, Александр Сергеевич Орешонков^{1, 2}

¹ Инженерно-строительный институт, Сибирский федеральный университет,
Красноярск, Россия

² Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской
академии наук (обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН),
Красноярск, Россия

Аннотация. В работе обсуждаются вопросы энергоэффективности пластиковых окон при заполнении межстекольного пространства осушенным воздухом, аргоном, криптоном, ксеноном и элегазом. Для численного расчета приведенного сопротивления теплопередаче оконных блоков с различными конфигурациями светопрозрачной части использованы современные программные комплексы Them 7.6 и Window 7.6. На основе полученных результатов разработаны рекомендации по использованию конфигураций стеклопакетов с заполнением воздухом и газами, отличными от него.

Ключевые слова: оконный блок, межстекольное пространство, энергосбережение, энергоэффективность, сопротивление теплопередаче

Для цитирования: Драница М.В., Пахомов П.С., Киреев Н.Е., Орешонков А.С. Численная оценка приведенного сопротивления теплопередаче оконных блоков различных конфигураций // Известия вузов. Строительство. 2022. № 10. С. 76–81. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-76-81.

Original article

NUMERICAL ESTIMATION OF REDUCED RESISTANCE TO HEAT TRANSFER FOR VARIOUS WINDOW CONFIGURATIONS

**Maria V. Dranitsa¹, Pavel S. Pakhomov¹, Nikita E. Kireev¹,
Aleksandr S. Oreshonkov^{1, 2}**

¹School of Engineering and Construction, Siberian Federal University,
Krasnoyarsk, Russia

²Kirensky Institute of Physics (Federal Research Center KSC SB RAS),
Krasnoyarsk, Russia

Abstract. This article discusses the energy efficiency of plastic windows with the filling the space between panes by dry air, argon, krypton, xenon and SF₆ gas. Numerical calculation of reduced resistance to heat transfer of window blocks with different

© Драница М.В., Пахомов П.С., Киреев Н.Е., Орешонков А.С., 2022

configurations of the transparent part were performed using Them 7.6 and Window 7.6 software. Finally, the results of this work can be used for developing recommendations of using the window block configurations filled with air and gases other than.

Keywords: window block, inter-glass space, energy saving, energy efficiency, heat transfer resistance

For citation: Dranitsa M.V., Pakhomov P.S., Kireev N.E., Oreshonkov A.S. Numerical estimation of reduced resistance to heat transfer for various window configurations. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (10): 76–81. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-76-81.

Введение. В настоящее время повсеместно изучаются подходы для повышения энергоэффективности и снижения энергопотребления, в том числе в строительной отрасли [1]. При проектировании энергоэффективных зданий учитываются такие критерии, как ориентация и форма зданий, теплотехнические характеристики внешних ограждающих конструкций, возможность применения пассивных систем охлаждения и отопления, снижение тепловых потерь через окна зданий в зимний период [2]. Большую часть оконного блока занимает стеклопакет, который состоит из камер, в которых пространство между стеклами заполнено газом, в большинстве случаев осушенным воздухом. Конструктивно светопрозрачная часть может быть одно-, двух- или трехкамерной, при этом наиболее распространенным вариантом на территории Красноярского края являются двойные стеклопакеты.

Одним из способов повышения теплозащитных свойств стеклопакетов служит заполнение пространства между стеклами инертными газами. В качестве заполнителя межстекольного пространства кроме осушенного воздуха может использоваться: аргон [3], криптон [4], ксенон [5] и элегаз (шестифтористая сера) [6]. Самый бюджетный заполнитель – осушенный воздух. Заполнение атмосферным воздухом не допускается, так как в нем высоко содержание влаги, что в свою очередь будет способствовать выпадению конденсата во время сезона низких температур.

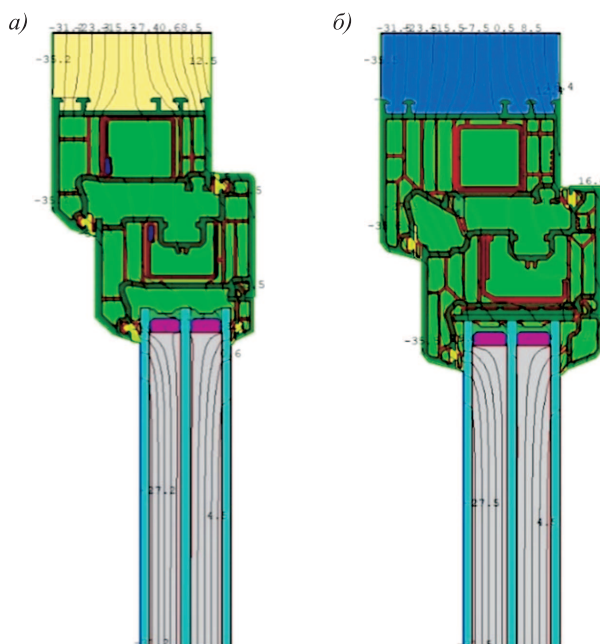
Наиболее доступным с точки зрения стоимости газом (после воздуха) является аргон. Окна с заполнением межстекольного пространства криптоном обладают лучшими теплотехническими характеристиками [7], чем заполненные аргоном, при этом может быть уменьшена толщина стеклопакетов для снижения количества используемого газа, что повлияет на стоимость окон в целом. Заполнение камер светопрозрачной части стеклопакета таким инертным газом, как ксенон, является наиболее эффективным решением с точки зрения энергосбережения. Ксенон на 25–30 % хуже пропускает звуковые колебания по сравнению с воздухом, что позволяет снизить уровень шума в помещениях. Инертные газы сохраняют оптические свойства при любых температурах и таким образом не происходит искажения изображения предметов, находящихся за окном. Заполнение межстекольного пространства элегазом (SF_6) – оптимальный вариант при необходимости значительно повысить шумоизоляцию помещения. Стеклопакеты с шестифтористой серой снижают уровень проникновения шума с улицы на два-три децибела, в то время как при заполнении воздухом – всего на один децибел [8]. В качестве газа-заполнителя для двухкамерных стеклопакетов можно использовать не один газ, а несколько.

Таблица 1. Граничные условия, используемые в расчетах
Table 1. Boundary conditions used in calculations

Условия	Температура, °С	Коэффициент теплопередачи, Вт/м ² ·°С	Влажность, %
Внутренние, t_{int}	+21	8,7	55
Внешние, t_{ext}	-37	23	12

Цели работы – оценка приведенного сопротивления теплопередаче оконных блоков при заполнении межстекольного пространства различными видами газов на примере климатических условий г. Красноярска.

Используемые при расчетах граничные условия и климатические параметры выбраны согласно соответствующим нормативным документам (СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. (М.: Минстрой России, 2020. 116 с.), СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Изменение 2 (М.: Стандартинформ, 2012. 95 с.), ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях (М.: Стандартинформ, 2013. 11 с.)) и представлены в табл. 1. Пример оконных блоков, моделирование которых выполнялось в программе THERM 7.6 для определения приведенного сопротивления теплопередаче, показан на рисунке.



Оконный блок в программе THERM 7.6

а – оконный блок с дистанционной рамкой 14 мм; *б* – оконный блок с дистанционной рамкой 16 мм

Window in THERM 7.6 software

a – window unit with a 14 mm spacer frame; *b* – window unit with 16 mm spacer frame

Результаты расчета приведенного сопротивления теплопередаче оконных блоков при заполнении межстекольного пространства воздухом, аргоном, криптоном, ксеноном и шестифтористой серой (элегаз) при использовании дистанционных рамок шириной $d = 14$ и 16 мм, для стекол без и с ТОП-покрытием (ТОП – теплоотражающее покрытие) приведены в табл. 2.

Согласно полученным результатам, среди рассмотренных конфигураций не удовлетворяют нормативным требованиям по сопротивлению теплопере-

Таблица 2. Приведенное сопротивление теплопередаче рассмотренных в данной работе конфигураций оконных блоков $R_0^{пр}$, $m^2 \cdot ^\circ C/Wt$

Table 2. Reduced resistance to heat transfer for window configurations investigated in this work R_0^{pr} , $m^2 \cdot ^\circ C/Wt$

Заполнение	d , мм			
	14	16	ТОП-покрытие	
			14	16
Воздух/воздух	0,55	0,61	0,65	0,73
Воздух/аргон	0,56	0,62	0,7	0,79
Воздух/криптон	0,56	0,63	0,72	0,81
Воздух/ксенон	0,57	0,63	0,74	0,85
Воздух/элегаз	0,52	0,58	0,58	0,65
Аргон/воздух	0,56	0,63	0,67	0,75
Аргон/аргон	0,57	0,64	0,71	0,8
Аргон/криптон	0,58	0,64	0,73	0,83
Аргон/ксенон	0,58	0,65	0,76	0,86
Аргон/элегаз	0,54	0,6	0,6	0,67
Криптон/воздух	0,57	0,63	0,67	0,76
Криптон/аргон	0,58	0,65	0,72	0,81
Криптон/криптон	0,58	0,65	0,73	0,84
Криптон/ксенон	0,59	0,66	0,76	0,87
Криптон/элегаз	0,54	0,61	0,6	0,68
Ксенон/воздух	0,57	0,64	0,68	0,77
Ксенон/аргон	0,59	0,66	0,72	0,81
Ксенон/криптон	0,59	0,66	0,74	0,84
Ксенон/ксенон	0,59	0,66	0,76	0,87
Ксенон/элегаз	0,55	0,61	0,61	0,69
Элегаз/воздух	0,52	0,57	0,62	0,63
Элегаз/аргон	0,53	0,59	0,67	0,75
Элегаз/криптон	0,53	0,59	0,69	0,78
Элегаз/ксенон	0,54	0,6	0,72	0,81
Элегаз/элегаз	0,49	0,54	0,55	0,61

даче окон ($R = 0,73 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$) в климатических условиях г. Красноярска оконные блоки с дистанционными рамками шириной 14 и 16 мм без ТОП-покрытия со всеми вариантами заполнения, включая распространенную конфигурацию воздух/воздух при ширине дистанционной рамки $d = 14 \text{ мм}$, с ТОП-покрытием. Результаты численных расчетов показали неэквивалентность значений сопротивления теплопередаче при закачке пар различных газов. Так, при варианте заполнения воздух/аргон значение сопротивления теплопередаче на 5 % выше, чем аргон/воздух (см. табл. 2, например, дистанционная рамка 16 мм с ТОП-покрытием).

В качестве предельно допустимой (по сопротивлению теплопередаче для Красноярска) конфигурации оконных блоков может быть использован вариант: $d = 14 \text{ мм}$ с ТОП-покрытием в комбинации газов воздух/воздух. Заполнение аргоном межстекольного пространства только одной оконной камеры со стороны помещения соизмеримо с заполнением всего стеклопакета аргоном. Это позволит как существенно повысить сопротивление теплопередаче (на ~10 % по сравнению с конфигурацией воздух/воздух), так и снизить затраты на газ вдвое по сравнению с конфигурацией аргон/аргон. Максимально энергоэффективными конфигурациями оконных блоков являются блоки с дистанционной рамкой шириной 16 мм с ТОП-покрытием, заполненные газами в комбинациях криптон/ксенон и ксенон/ксенон.

Выводы. 1. Все варианты рассмотренных оконных блоков без использования теплоотражающего покрытия не удовлетворяют нормативным требованиям по сопротивлению теплопередаче для Красноярска, $R < 0,73 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

2. Установлено, что при толщине дистанционной рамки $> 14 \text{ мм}$, а также в случае использования ТОП-покрытия, варианты заполнения газ1/газ2 и газ2/газ1 неэквивалентны по значению сопротивления теплопередаче.

3. Результаты данной работы могут быть использованы при выборе конфигураций оконных блоков не только удовлетворяющих нормативным требованиям для Красноярска, но и превышающих их, что позволит снизить энергозатраты при эксплуатации зданий.

Список источников

1. Malkapur S.M., Shetty S.D., Kulkarni K.S., Gaji A. Studies on energy efficient design of buildings for warm and humid climate zones in India // Lecture Notes In Civil Engineering. 2023. Vol. 260. P. 327–348.
2. Pacheco R., Ordóñez J., Martínez G. Energy efficient design of building: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. Vol. 16. P. 3559–3573.
3. Alosaimi F., Almutairi A. Heat transfer analysis of double and triple glazed glass windows // Lecture Notes In Civil Engineering. 2023. Vol. 279. P. 571–582.
4. Larsson U., Moshfegh B., Sandberg M. Thermal analysis of super insulated windows (numerical and experimental investigations) // Energy and Buildings. 1999. Vol. 29, no. 2. P. 121–128.
5. Asif M. An empirical study on life cycle assessment of double-glazed aluminium-clad timber windows // International Journal of Building Pathology and Adaptation. 2019. Vol. 5, no. 5. P. 547–564.
6. Ismail K.A.R., Salinas C.T., Henriquez J.R. Comparison between PCM filled glass windows and absorbing gas filled windows // Energy and Buildings. 2008. Vol. 40, no. 5. P. 710–719.

7. Heydari A., Sadati S.E., Gharib M.R. Effects of different window configurations on energy consumption in building: Optimization and economic analysis // *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 35, no. 35. P. 102099.
8. Корепанов Е.В. Анализ путей повышения сопротивления теплопередаче окон // *Фундаментальные и прикладные исследования: Проблемы и результаты*. 2015. № 20. С. 84–88.

References

1. Malkapur S.M., Shetty S.D., Kulkarni K.S., Gaji A. Studies on energy efficient design of buildings for warm and humid climate zones in India. *Lecture Notes In Civil Engineering*. 2023; (260): 327–348.
2. Pacheco R., Ordonez J., Martinez G. Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012; (16): 3559–3573.
3. Alosaimi F., Almutairi A. Heat transfer analysis of double and triple glazed glass windows. *Lecture Notes In Civil Engineering*. 2023; (279): 571–582.
4. Larsson U., Moshfegh B., Sandberg M. Thermal analysis of super insulated windows (numerical and experimental investigations). *Energy and Buildings*. 1999; 29(2): 121–128.
5. Asif M. An empirical study on life cycle assessment of double-glazed aluminium-clad timber windows. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. 2019; 5(5): 547–564.
6. Ismail K.A.R., Salinas C.T., Henriquez J.R. Comparison between PCM filled glass windows and absorbing gas filled windows. *Energy and Buildings*. 2008; 40(5): 710–719.
7. Heydari A., Sadati S.E., Gharib M.R. Effects of different window configurations on energy consumption in building: Optimization and economic analysis. *Journal of Building Engineering*. 2021; 35(35): 102099.
8. Korepanov E.V. Analysis of ways to increase the resistance to heat transfer of windows. *Fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya: Problemy i rezul'taty = Fundamental and applied research: problems and results*. 2015; (20): 84–88. (In Russ.).

Информация об авторах

М.Д. Драница – студент, mari.dranitsa@mail.ru
П.С. Пахомов – студент, ps_pahomov@mail.ru
Н.Е. Киреев – студент, punirito@yandex.ru
А.С. Орешонков – кандидат физико-математических наук, доцент, oreshonkov@iph.krasn.ru

Information about the authors

M.D. Dranitsa – Student, mari.dranitsa@mail.ru
P.S. Pakhomov – Student, ps_pahomov@mail.ru
N.E. Kireev – Student, punirito@yandex.ru
A.S. Oreshonkov – PhD, Ass. Professor, oreshonkov@iph.krasn.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 19.08.2022
Одобрена после рецензирования 20.09.2022
Принята к публикации 27.09.2022

The article was submitted 19.08.2022
Approved after reviewing 20.09.2022
Accepted for publication 27.09.2022