DOI: 10.17117/nv.2014.01.099

Поступило в редакцию: 21.11.2014

<http://ucom.ru/doc/nv.2014.01.099.pdf>

pk@tsuab.ru

Петров Е.В., Качаева С.Г., Алексеев А.А.
Исследование влияния различных факторов на
тепловые характеристики светопрозрачных ограждений

Petrov E.V., Kachaeva S.G., Alekseev A.A.
Research of influence of different factors on the thermal
properties of transparent external structures

В статье рассмотрено несколько различных факторов, влияющих на тепловые характеристики светопрозрачных ограждающих конструкций и способы повышения сопротивления теплопередаче окон. В данной статье приведены возможности регулирования тепловых характеристик светопрозрачных ограждений в зависимости от различных температурных условий

Ключевые слова: теплопередача, светопрозрачные конструкции, теплоотражающее покрытие, электрообогрев, тепловые потери

Петров Евгений Владимирович
 Кандидат технических наук, доцент
 Томский государственный архитектурно-строительный университет
 г. Томск, площадь Соляная, 2

Качаева Светлана Геннадьевна
 Старший лаборант
 Томский государственный архитектурно-строительный университет
 г. Томск, площадь Соляная, 2

Алексеев Александр Аверьянович
 Кандидат технических наук, доцент
 Томский государственный архитектурно-строительный университет
 г. Томск, площадь Соляная, 2

The article considers a number of different factors that affect the thermal properties of transparent external structures and methods to improve the thermal resistance of windows. This paper presents possibilities of regulating the thermal characteristics of transparent external structures according to different temperature conditions

Key words: heat transfer, transparent external structures, heat-reflective coating, electric heating, heat loss

Petrov Evgeny Vladimirovich
 Candidate of Engineering Sciences, associate Professor
 Tomsk State University of Architecture and Building
 Tomsk, Solyanaya Square, 2

Kachaeva Svetlana Gennadyevna
 Senior Lab technician
 Tomsk State University of Architecture and Building
 Tomsk, Solyanaya Square, 2

Alekseev Alexander Averyanovich
 Candidate of Engineering Sciences, associate Professor
 Tomsk State University of Architecture and Building
 Tomsk, Solyanaya Square, 2

Использование производимой энергии в Российской Федерации характеризуется тем, что в нашей стране показатель удельного потребления энергоресурсов на 1 м² отапливаемой площади жилых и общественных зданий в несколько раз выше, чем в развитых странах [1]. В связи с ежегодным повышени-

ем цен на топливо и другие энергетические ресурсы, проблема энергосбережения в нашей стране является одной из приоритетных.

Снижение тепловых потерь в зданиях – это одно из наиболее эффективных мероприятий по уменьшению расхода тепловой энергии на отопление зданий и сооружений. В настоящее время в жилых и общественных зданиях порядка 20...40% тепловых потерь происходит через светопрозрачные ограждающие конструкции [4, 12]. Поэтому к ним должны предъявляться повышенные требования по теплозащите.

Как известно, процесс передачи тепла в светопрозрачных ограждающих конструкциях может происходить излучением, конвекцией и теплопроводностью [7, 11]. Изменять теплозащитные свойства окон можно путем влияния на эти составляющие теплообмена.

Существует несколько способов влияния на тепловые характеристики оконных конструкций, таких как:

- увеличение количества слоев остекления;
- изменение толщины зазора между стеклами стеклопакета;
- применение газового заполнения межстекольного пространства различными газами или газовыми смесями для влияния на конвективную составляющую теплообмена;
- применение вакуумных стеклопакетов;
- применение специальных стекол с низкоэмиссионным теплоотражающим покрытием для влияния на лучистую составляющую теплообмена;
- совместное применение теплоотражающего покрытия и газового заполнения стеклопакета;
- использование электрообогреваемого остекления (обогрев либо самого воздушного пространства между стеклами стеклопакета, либо поверхности стекла).

Рассмотрим влияние представленных выше факторов.

Теплозащитные свойства окон можно улучшить путем увеличения количества слоев остекления [1, 2]. Однако, это не самый эффективный вариант для применения, потому что относительное увеличение сопротивления теплопередачи окна с каждым дополнительным слоем остекления уменьшается. К тому же, с увеличением рядности остекления существенно снижается проникновение видимого света через оконные конструкции. Поэтому на практике, как правило, применяют однокамерные или двухкамерные стеклопакеты в зависимости от климатических условий региона страны.

Повышение теплозащитных свойств светопрозрачных ограждающих конструкций можно обеспечить устройством замкнутых воздушных прослоек, благодаря чему эффективно используется теплоизолирующая способность воздуха [7], что является следующим способом влияния на сопротивление теплопередаче оконных конструкций. Согласно различным экспериментальным и расчетным данным [10, 11] имеет место одна и та же тенденция: термическое сопротивление воздушной прослойки постепенно увеличивается до определенной толщины, а затем практически не зависит от ее размера.

Другим способом влияния на теплообмен в межстекольном пространстве является заполнение его различными газами, которые имеют иные теплофизические свойства, чем воздух, тем самым, воздействуя на конвективную составляющую теплообмена в прослойке [1]. Для уменьшения конвекции в настоящее время используют метод замены воздуха на такие газы, как аргон, криптон, ксенон или образующиеся в комбинации с воздухом газовые смеси. Замена воздуха аргоном позволяет увеличить термическое сопротивление газовой прослойки до 10% по сравнению с воздушным заполнением [4].

В том случае, когда промежуточное пространство стеклопакета заполняется более плотным, по сравнению с воздухом газом, потери тепла, происходящие за счет конвекции в межстекольном пространстве, снижаются. Теплопроводность, плотность, динамическая вязкость и теплоемкость газов оказывают влияние на термическое сопротивление газовой прослойки. Конвективные процессы в прослойке также меняются в зависимости от собственной температуры газов и ширины промежуточного пространства.

Наиболее интересным новым решением оконных конструкций является применение вакуумных стеклопакетов. Создание вакуума в пространстве между стеклами, особенно в сочетании с применением низкоэмиссионных селективных покрытий позволяет существенно повысить сопротивление теплопередаче таких стеклопакетов. Проблема использования вакуумных стеклопакетов заключается в их механической прочности и стойкости покрытий. В ряде стран, таких как Австралия, США, Япония, Россия начата разработка новых видов изделий. Конструкция вакуумного стеклопакета представляет собой два листа стекла, спаянные между собой с небольшим зазором. Для исключения конвективной составляющей теплопередачи через стеклопакет уровень вакуума в межстекольном пространстве должен составлять 10–2...10–3 мм рт. ст. Для компенсации воздействия внешнего давления на стеклопакет внутри него, между стеклами устанавливают распорные элементы, жестко соединенные с листами стекла. Такая пространственная конструкция обладает высокой прочностью.

Следующим способом повышения сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций, влияющих на лучистую составляющую теплопередачи, является применение селективных покрытий. Для того, чтобы уменьшить лучистую составляющую теплообмена применяют низкоэмиссионные теплоотражающие покрытия [1, 3]. При их использовании происходит существенное уменьшение количества тепловой энергии, теряемой в виде инфракрасного излучения через поверхность стекла, что в свою очередь, обусловлено спектрально-селективными свойствами покрытия, наносимого на поверхность стекла, которое пропускает видимое и отражает инфракрасное тепловое излучение [5]. За счет снижения величины лучистой составляющей теплообмена тепловые потери через светопрозрачные конструкции существенно уменьшаются (на 50...80%) в зависимости от свойств теплоотражающего покрытия. Однако данные покрытия снижают коэффициент пропускания света через окна, хотя и незначительно.

В качестве теплоотражающих покрытий широко используют покрытия на основе различных металлов, таких как серебро, золото, медь с системой просветляющих окислов, а также полупроводниковые оксиды олова и индия. По способу нанесения существуют теплоотражающие покрытия Off-line и On-line [11]. Низкая излучательная способность стекол с покрытиями типа Off-line достигается, в основном, благодаря слою серебра. Нанесение покрытий производят вакуумными ионно-плазменными методами. Слой серебра защищают слоем оксида металла, в качестве которого используют оксиды алюминия или титана. Чтобы внешний вид стекол был как можно более нейтральным, наносят еще два слоя просветляющих полупроводниковых оксидов BiO_2 , TiO_2 , SiO_2 . Между стеклом и слоем серебра расположен первый слой из полупроводникового оксида, задачей которого является прочно закрепить слой серебра на стекле.

В стеклах с покрытиями типа On-line применяют в качестве основного слоя оксид олова. В основе метода нанесения слоя покрытия из оксида олова лежит реакция пиролиза, которая происходит на одной из стадий производства стекла. Во время этой реакции слой оксида оседает на поверхность горячего стекла, становясь неотделимой его частью. Слой оксида олова почти бесцветный и незаметный. Значения излучательной способности стекол с покрытиями типа On-line составляют порядка 0,16–0,20, с покрытием типа Off-line порядка 0,04–0,12. Самый эффективный способ для снижения потерь тепла через светопрозрачные ограждающие конструкции является применение таких покрытий стекол, излучательная способность которых как можно ниже.

Следует отметить, что в холодный период времени года чаще всего ощущение теплового дискомфорта наблюдается при нахождении вблизи от поверхности светопрозрачного ограждения [9]. Это объясняется тем, что температура на внутренней поверхности обычного окна ниже, чем на внутренних поверхностях стен и значительно ниже температуры внутреннего воздуха. В результате у окна возникает циркуляция холодного воздуха.

Одним из эффективных способов повышения температуры внутреннего остекления и создания теплового комфорта является использование электрического обогрева окон [5, 8]. Повышение тепловых характеристик светопрозрачных ограждающих конструкций в наиболее холодные периоды времени можно достичь, используя обогрев или межстекольного воздушного промежутка или остекления [3, 9].

При использовании обогрева в межстекольном пространстве стеклопакета при небольших тепловыделениях (50...100 Вт/м) происходит существенное повышение температуры внутреннего остекления [5, 7], близкой или выше температуры воздуха в помещении, что в свою очередь влияет на теплотехнические характеристики окна. При этом установлено, что наиболее оптимальным является нагрев теплой прослойки стеклопакета, а также выявлена большая эффективность применения обогрева межстекольного пространства с применением теплоотражающих покрытий [3]. При совместном использовании электрического обогрева межстекольного воздушного промежутка и теплоотражающего покрытия на стекле стеклопакета, электрическая мощность,

подаваемая на нагреватель, может быть снижена по сравнению со случаем без применения селективного покрытия стекла. Представленный метод обогрева межстекольного пространства позволяет улучшить тепловую обстановку вблизи окна и уменьшить тепловые потери из помещения.

При использовании стекол с покрытиями, можно изготавливать элементы стеклопакетов, в которых металлическое покрытие будет работать по принципу омического нагревателя [6]. Стекла, используемые в электроподогреваемых стеклопакетах, как правило, следует подвергать закалке во избежание их разрушения под действием тепловых нагрузок.

Мощность нагрева электронагреваемых стекол зависит от целей применения, которые могут быть следующими. При мощности нагрева до 150 Вт/м² температура поверхности стеклянной части окна поддерживается на том же уровне, что и температура в комнате, несмотря на изменение температуры наружного воздуха. Применяется для снижения конвективных воздушных потоков, вызванных разницей между температурой комнатного воздуха и температурой поверхности внутреннего оконного стекла или конденсации водяного пара, содержащегося в воздухе, на поверхности холодного стекла.

При мощности нагрева 150...2000 Вт/м² температура поверхности внутреннего оконного стекла поддерживается выше комнатной температуры. Применяется вместо установленных под окном источников тепла, задачей которых является обогрев помещения или в качестве дополнительного источника тепла наряду с другими формами отопления. При более высокой мощности нагрева температура поверхности стекла всегда существенно выше, чем температура окружающего пространства. Применяется для эффективного и быстрого плавления инея и снега, образующегося на поверхности наружных стекол стеклянных кровель, в качестве единственного источника тепла в помещениях или для использования в различных условиях, при которых от стекол требуется абсолютная прозрачность в любое время при изменяющихся внешних условиях.

Эффективность работы электрообогреваемого остекления можно усилить, используя комбинацию токопроводящего и энергосберегающего слоев [8]. Энергосберегающий слой свободно пропускает коротковолновый солнечный свет, отражая при этом тепловой поток от радиаторов отопления. При использовании одновременно электрообогреваемого и теплоотражающего слоев электрическая мощность, подаваемая на остекление, может быть также снижена по сравнению со случаем применения только электрообогреваемого стекла. Электрообогреваемое остекление эффективно использовать в периоды похолоданий в зданиях, к тепловому режиму которых предъявляются особые требования.

Таким образом, применение различных способов электрообогрева в стеклопакетах светопрозрачных ограждающих конструкций является эффективным средством повышения тепловых характеристик окон, не изменяя при этом их световых характеристик, что имеет место при применении многослойного остекления и теплоотражающих покрытий.

В заключение следует отметить, что температура на поверхности стекла имеет большое значение для обеспечения комфортности в помещении. От разницы температур в помещении и на поверхности стекла зависит интенсивность конвективных потоков. Наиболее комфортные условия достигаются при температуре на стекле более $+14^{\circ}\text{C}$ и температуре воздуха в помещении $+20^{\circ}\text{C}$. Конвективные потоки, вызванные таким перепадом температур, не вызывают неприятных ощущений. Поэтому основные усилия при разработке новых конструкций окон должны быть направлены именно на обеспечение комфортных условий в помещении при соблюдении тепловой и энергетической эффективности светопрозрачных ограждений.

Список литературы:

1. Гныря А.И., Низовцев М.И., Петров Е.В., Терехов В.И. Термические сопротивления заполнений оконных блоков // Известия ВУЗов. Строительство. 1998. № 11-12. С. 90-94.
2. Гныря А.И., Петров Е.В., Низовцев М.И., Терехов В.И. Влияние инфильтрации холодного воздуха на сопротивление теплопередаче стеклопакета // Известия ВУЗов. Строительство. 1999. № 2-3. С. 102-105.
3. Низовцев М.И., Терехов В.И., Гныря А.И., Петров Е.В. Влияние обогрева межстекольного пространства на сопротивление теплопередачи стеклопакета // Известия ВУЗов. Строительство. 1999. № 11. С. 74-79.
4. Петров Е.В. Влияние различных факторов на тепловые характеристики оконных заполнений: Дисс... канд. техн. наук. Томск, 2000. 172 с.
5. Гныря А.И., Низовцев М.И., Петров Е.В., Терехов В.И. Исследование обогрева межстекольного пространства для повышения теплотехнических характеристик окон с тройным остеклением // Строительные материалы. 2000. № 11. С. 10-12.
6. Мозутов В.А., Вали Ю. Стеклопакеты с электрообогревом // Светопрозрачные конструкции. 1999. № 3-4. С. 44-45.
7. Петров Е.В. Влияние различных факторов на тепловые характеристики оконных заполнений: Автореф. дисс...канд. техн. наук. Томск, 2000. 22 с.
8. Nizovtsev M.I., Terekhov V.I., Gnyrya A.I., Petrov E.V. Experimental investigation of the effect of heat release in an interglass space on the thermal characteristics of the a glazed windows // Heat Transfer Research. 2002. T. 33, № 5-6. С. 334-341.
9. Петров Е.В., Терехов В.И., Низовцев М.И. Исследование обогрева межстекольного пространства при тройном остеклении // Вестник ТГАСУ. 2000. № 1. С. 221-227.
10. Фомина В.Ф. Архитектурно-конструктивное проектирование общественных зданий. Ульяновск: УлГТУ, 2007. 97 с.
11. Телеличко Н.Н., Петров Е.В. Применение светопрозрачных ограждающих конструкций с повышенными теплотехническими характеристиками // Перспективы развития фундаментальных наук. Томск, 2012. С. 791-793.
12. Петров Е.В. Исследование процессов теплопередачи через наружные ограждающие конструкции // Инновационные технологии и экономика в машиностроении. Томск, 2014. Т. 2. С. 227-230.

References:

1. Gnyrya A.I., Nizovtsev M.I., Petrov E.V., Terekhov V.I. The thermal resistance of fillings window units // Izvestiya VUZov. Building. 1998. № 11-12. Pp. 90-94.
2. Gnyrya A.I., Petrov E.V., Nizovtsev M.I., Terekhov V.I. The influence of infiltration of cold air on the thermal resistance of the glazing unit // Izvestiya VUZov. Building. 1999. № 2-3. Pp. 102-105.
3. Nizovtsev M.I., Terekhov V.I., Gnyrya A.I., Petrov E.V. The influence of inter-glass space heating on the thermal resistance of the glazing unit // Izvestiya VUZov. Building. 1999. № 11. Pp. 74-79.
4. Petrov E.V. The influence of various factors on the thermal characteristics of window fillings: Dissertation. Tomsk, 2000. 172 p.
5. Gnyrya A.I., Nizovtsev M.I., Petrov E.V., Terekhov V.I. Investigation of inter-glass space heating to improve thermal characteristics of windows with triple glazing // Building materials. 2000. № 11. Pp. 10-12.

6. Mogutov V.A, Wali Yu. Windows with electric heating // *Transparent structures*. 1999. № 3-4. Pp. 44-45.
7. Petrov E.V. The influence of various factors on the thermal characteristics of window fillings: Abstract of the thesis for...candidate of technical sciences. Tomsk, 2000. 22 p.
8. Nizovtsev M.I., Terekhov V.I., Gnyrya A.I., Petrov E.V. Experimental investigation of the effect of heat release in an interglass space on the thermal characteristics of the a glazed windows // *Heat Transfer Research*. 2002. Vol. 33. № 5-6. Pp. 334-341.
9. Petrov E.V., Terekhov V.I., Nizovtsev M.I. Investigation of inter-glass space heating with triple glazing // *Vestnik TSUAB*. 2000. № 1. Pp. 221-227.
10. Fomina V.F. Architectural and structural design of public buildings. Ulyanovsk: USTU, 2007. 97 p.
11. Telelichko N.N., Petrov E.V. The application of transparent external structures with high thermal characteristics // *Prospects of Fundamental Science Development*. Tomsk, 2012. Pp. 791-793.
12. Petrov E.V. The investigation of the processes of heat transfer through the external protecting constructions // *Innovative technologies and economics in engineering*. Tomsk, 2014. Vol. 2. Pp. 227-230.

© 2014, Петров Е.В., Качаева С.Г., Алексеев А.А.
Исследование влияния различных факторов на
тепловые характеристики светопрозрачных
ограждений

© 2014, Petrov E.V., Kachaeva S.G., Alekseev A.A.
Research of influence of different factors on the
thermal properties of transparent external
structures