

Выбор критериальных уравнений для эквивалентной теплопроводности светопрозрачной части окна

В соответствии с СП50.13330.2012 «Тепловая защита здания» в качестве основной теплотехнической характеристики используется удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, определяемая как отношение суммарного теплопотребления здания на его объём и разность температуры внутреннего воздуха и средней температуры отопительного периода. Нормирование этой характеристики позволяет отказаться от строительства стен с регламентированным нормативными документами сопротивлением теплопередаче, что зачастую не оправдано экономически. Удельная тепловая характеристика здания может быть уменьшена за счёт применения различных мероприятий по энергосбережению, в том числе и за счёт рационального конструирования наружных ограждающих конструкций, в частности стен и окон.

В стенах с оконными проёмами происходит уменьшение термического сопротивления, обусловленное, с одной стороны, появлением более теплопроводного участка (остекления), с другой стороны — дополнительными потерями теплоты через оконные откосы.

Теплопотери через неоднородные ограждающие конструкции, к которым относятся наружные стены с окнами, рассчитываются по приведённому сопротивлению теплопередаче R_{0}^{np} , которое вычисляется через условное сопротивление теплопередаче однородного (в продольном направлении) участка стены $R_{0,ст}^{ysl}$, и коэффициент r теплотехнической однородности ограждающей конструкции:

$$R_{0}^{np} = r R_{0,ст}^{ysl}.$$

Коэффициент теплотехнической однородности стены с окном зависит от конструкции светопрозрачной части окна, типа переплёта, конструкции узла со-

пряжения оконного блока и стены, глубины заделки окна, конструкции и размеров простенков, подоконной и надоконной частей стены.

Определяющим элементом стены с окном является светопрозрачная часть окна, как наиболее теплопроводная, поэтому в конечном итоге точность вычисления потерь теплоты через этот элемент определяет точность вычисления коэффициента теплотехнической однородности стены в целом.

На сопротивление теплопередаче окна влияет как характер течения газа в замкнутой прослойке межстекольного пространства, так и тип используемого остекления, определяющего теплопередачу излучением. Результаты исследования конвективных течений и математического моделирования теплопередачи через окна приведены в [1–5]

На сопротивление теплопередаче окна влияет как характер течения газа в замкнутой прослойке межстекольного пространства, так и тип используемого остекления, определяющего теплопередачу излучением. Результаты исследования конвективных течений и математического моделирования теплопередачи через окна приведены в [1–5].

Несомненно, что наиболее достоверные результаты вычисления значения коэффициента теплотехнической однородности могут быть получены только при решении связанной задачи теплопроводности стены, оконной рамы и оконного остекления, которое включает стекла и воздушные (газонаполненные) прослойки

УДК 697.133:536.2

Выбор критериальных уравнений для эквивалентной теплопроводности светопрозрачной части окна при расчёте теплопотерь через стены с окнами

Е. В. Корепанов, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Теплоснабжение, отопление, вентиляция и кондиционирование», Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова (ИжГТУ, Ижевск)

Описана методика и результаты расчёта коэффициента теплотехнической однородности стены с окнами, а также теплотехнических характеристик окон с применением эквивалентной теплопроводности газозаполненных прослоек. Приведённое сопротивление теплопередаче окна рассчитывается исходя из сопротивления теплопередаче светопрозрачной части окна и из сопротивления теплопередаче оконных блоков из профилей ПВХ. Приведены критериальные уравнения для коэффициента конвекции газозаполненных прослоек, полученные в результате решения сопряжённой задачи конвективного теплообмена.

Ключевые слова: наружная стена с окнами, сопротивление теплопередаче окна, конвективный теплообмен в окнах, эквивалентная теплопроводность стеклопакета.

UDC 697.133:536.2

Selection criterial equations for the equivalent thermal conductivity of the translucent part of the window when calculating the heat loss through the wall

E. V. Korepanov, PhD, Associated Professor, Head of Department of the Heat supply, Heating, Ventilation and Air Conditioning, Kalashnikov Izhevsk State Technical University (Kalashnikov Izhestu, Izhevsk)

The technique is described and results of calculation of the coefficient of heat engineering uniformity of the wall with the windows and the thermal performance of windows with the use of equivalent thermal conductivity of the gas and air layers. Reduced total thermal resistance of the window is calculated from the heat resistance of the translucent part of the window and the resistance to heat transfer of window blocks of PVC profiles. Given criteria equations for the convection coefficient of the gas and air layers calculated by solving the conjugate problem of convective heat transfer.

Keywords: exterior wall with windows, the thermal resistance of the window, convective heat transfers in Windows, the equivalent thermal conductivity of the glazing.

с решением сопряжённой задачи конвективного теплообмена в газовоздушных прослойках [6–9].

В инженерной практике основной задачей теплотехнического расчёта является задача вычисления потерь теплоты через ограждения, поэтому для инженерных расчётов необходимы более простые и менее затратные по времени методы. В основу таких методов закладывается эквивалентная теплопроводность газовой воздушной прослойки [10, 11].

В результате температурное поле в стене с окном определяется решением двумерной задачи теплопроводности с применением итерационной процедуры, так как эквивалентная теплопроводность прослойки зависит от температуры стёкол, как это показано в [12].

Приведённое сопротивление теплопередаче окна вычисляется с учётом теплопередачи через непрозрачную часть окна (оконный переплёт, переплёт створок, импосты) и светопрозрачную часть окна (стеклопакет) [13]:

$$R_{о.ок}^{пр} = \frac{1}{\frac{\beta}{R_o} + \frac{1-\beta}{R_o^{нп}}},$$

где R_o — сопротивление теплопередаче светопрозрачной части окна (стеклопакета); $R_o^{нп}$ — сопротивление теплопередаче непрозрачной части окна; $F_{св}$ — площадь светопрозрачной части оконной конструкции; $F_{нп}$ — площадь непрозрачной части окна оконной конструкции;

$$\beta = \frac{F_{св}}{F_{св} + F_{нп}} —$$

коэффициент остекления.

Сложность определения сопротивления теплопередаче непрозрачной части окна связана с тем, что современные оконные профили представляют собой сложные конструкции, включающие воздушные полости различных размеров [14]

Сопротивление теплопередаче светопрозрачной части окна с n -слойным остеклением будет равно:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_v} + \sum_{j=1}^n \frac{\delta_{стj}}{\lambda_{стj}} + \sum_{j=1}^{n-1} R_{эkvj} + \frac{1}{\alpha_n},$$

здесь $\delta_{ст}$ — толщина стекла; $\lambda_{ст}$ — теплопроводность стекла; $R_{эkv} = \delta/\lambda_{эkv}$ — эквивалентное термическое сопротивление газонаполненных прослоек окна, где δ — толщина прослойки, $\lambda_{эkv}$ — эквивалентная теплопроводность прослойки; α_v и α_n — коэффициенты теплоотдачи на внутренней и наружной поверхностях остекления.

Эквивалентная теплопроводность прослойки, учитывающая перенос теплоты теплопроводностью, конвекцией и излучением, определяется по уравнению:

$$\lambda_{эkv} = \lambda Nu + \frac{q_l \delta}{\bar{t}_i - \bar{t}_e}.$$

Поверхностная плотность потока излучения вычисляется по формуле для лучистого теплообмена между параллельными пластинами:

$$q_l = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_i} + \frac{1}{\varepsilon_e} - 1} \left[\left(\frac{\bar{t}_i + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\bar{t}_e + 273}{100} \right)^4 \right].$$

где λ — теплопроводность газа прослойки; $\bar{t}_i$ — средняя температура внутренней поверхности прослойки; $\bar{t}_e$ — средняя температура наружной поверхности прослойки; ε_i и ε_e — степень черноты поверхности внутреннего и наружного стёкол прослойки.

Сложность определения сопротивления теплопередаче непрозрачной части окна (переплёта) связана с тем, что современные оконные профили представляют собой сложные конструкции, включающие воздушные полости (камеры) различных размеров [14]. Если толщина камеры (размер в направлении вектора теплового потока) превышает 10–12 мм, то в ней появляется конвективный перенос теплоты [15, 16] с коэффициентом конвекции (отношение теплоты, переносимой конвекцией и теплопроводностью, к теплоте, переносимой только теплопроводностью) до двух-трёх. Для практических расчётов можно использовать экспериментальные значения $R_o^{нп}$ для существующих профилей, полученные при сертификационных испытаниях. Что касается прогнозирования теплотехнических свойств перспективных конструкций, то здесь также можно использовать метод эквивалентной теплопроводности.

В табл. 1 приведены сопротивление теплопередаче и эквивалентная теплопроводность $\lambda_{э,пр} = \delta_{пр}/R_o^{нп}$ различных профильных систем окон, распространённых в России. Значения эквивалентной теплопроводности для однотипных (по количеству камер) профилей практически совпадают. Отклонение $\lambda_{э,пр}$ от среднего значения не превышает 10% (за исключением шестикамерного Gealan).

•• Приведённое сопротивление теплопередаче и эквивалентная теплопроводность

табл. 1

Профиль	Трёхкамерный			Четырёхкамерный			Пятикамерный			Шестикамерный		
	R_o^{np} , м²·К/Вт	$\delta_{пр}$	$\lambda_{э,пр}$, Вт/(м²·К)	R_o^{np} , м²·К/Вт	$\delta_{пр}$	$\lambda_{э,пр}$, Вт/(м²·К)	R_o^{np} , м²·К/Вт	$\delta_{пр}$	$\lambda_{э,пр}$, Вт/(м²·К)	R_o^{np} , м²·К/Вт	$\delta_{пр}$	$\lambda_{э,пр}$, Вт/(м²·К)
Aluplast	—	—	—	0,72	60	0,083	—	—	—	0,89	70	0,079
Deceuninck	0,65	60	0,092	—	—	—	0,78	71	0,091	—	—	—
Dimex	—	—	—	—	—	—	0,84	70	0,083	—	—	—
Exprof	0,68	58	0,085	—	—	—	0,74	70	0,095	—	—	—
Gealan	0,63	62	0,098	—	—	—	0,82	74	0,090	0,83	83	0,100
Kaleva	0,62	60	0,097	0,76	70	0,092	0,85	70	0,082	—	—	—
KBE	0,62	58	0,094	—	—	—	0,78	70	0,090	1,05	88	0,084
Novotex	0,64	60	0,094	—	—	—	0,78	70	0,090	—	—	—
Plafen	0,64	60	0,094	0,71	60	0,085	0,84	75	0,089	—	—	—
Proplex	—	—	—	—	—	—	0,84	70	0,083	—	—	—
Rehau	0,64	60	0,094	0,72	70	0,097	0,80	70	0,088	1,05	86	0,082
Thussen	0,68	71	0,104	—	—	—	0,78	71	0,091	—	—	—
Trocal	—	—	—	—	—	—	0,84	70	0,083	—	—	—
Veka	—	—	—	0,75	70	0,093	0,77	70	0,091	1,05	90	0,086
Среднее	—	—	0,095	—	—	0,090	—	—	0,088	—	—	0,086

* Для различных профильных систем окон.

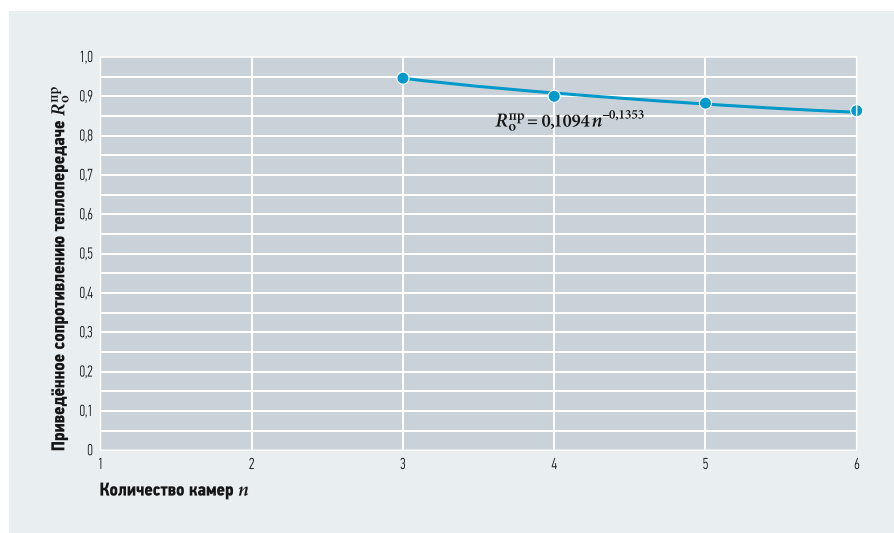


Рис. 1. Зависимость приведённого сопротивления профиля от числа камер

На рис. 1 приведена зависимость средней эквивалентной теплопроводности профиля $\lambda_{\text{э.пр}}$ от числа камер n профиля.

Увеличение количества камер приводит к уменьшению их размеров — следовательно, и к уменьшению коэффициента конвекции. Но размеры основной камеры (камера с наибольшими размерами) зависят от размеров армирующего вкладыша, обеспечивающего прочность конструкции. Следовательно, минимальное значение коэффициента конвекции имеет предельное значение, определяемое размерами основной камеры. Именно поэтому кривая зависимости эквивалентной теплопроводности на рис. 1 описывается степенной функцией со стремлением к предельному значению $\approx 0,08$ Вт/(м²·К).

Уменьшить эквивалентную теплопроводность профиля можно применением термовставок. Так, для профиля Veka с термовставкой эквивалентная теплопро-

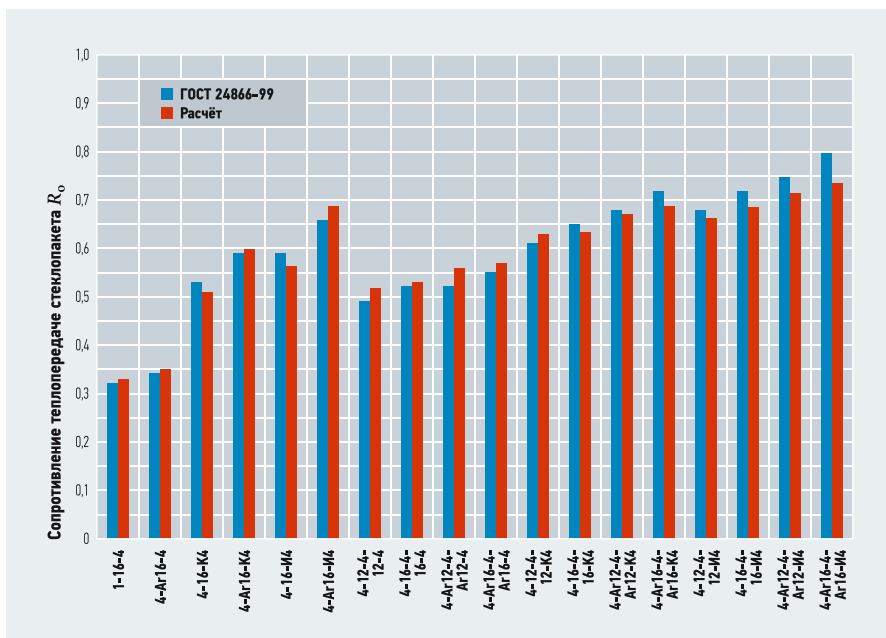


Рис. 2. Погрешность расчёта приведённого сопротивления теплопередаче, стеклопакетов

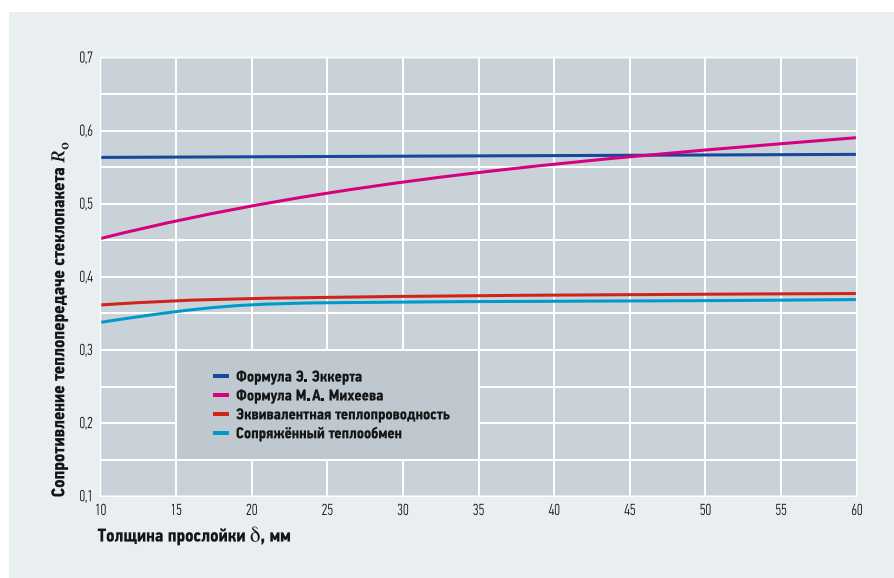


Рис. 3. Сопротивление теплопередаче светопрозрачной части

водность снижается на 20–23 %. Но это приводит к удорожанию конструкции и увеличению срока окупаемости.

В нормативной, справочной и учебной литературе [10, 11, 17, 18] для расчёта эквивалентной теплопроводности плоских замкнутых газовых прослоек рекомендуют использовать уравнения Э.Энкерта и М.А. Михеева.

Недостатком этих уравнения является то, что они получены для изотермических прослоек с теплоизолированными торцевыми поверхностями. Для анализа точности решений с использованием уравнений Энкерта и Михеева проведено сравнение с результатами сопряжённой задачи конвективного и лучистого теплообмена в участках стены с окнами.

Для вычисления среднего значения числа Нуссельта по результатам решения сопряжённой задачи конвективного теплообмена в окнах получены уравнения [12, 19, 20]:

□ окно с двухслойным остеклением (однокамерный стеклопакет):

$$Nu = 0,314 Ra^{0,247} \left(\frac{h}{\delta} \right)^{-0,24};$$

□ внутренняя прослойка тройного остекления (двухкамерный стеклопакет):

$$Nu = 0,292 Ra^{0,263} \left(\frac{h}{\delta} \right)^{-0,24};$$

□ наружная прослойка тройного остекления (двухкамерный стеклопакет):

$$Nu = 0,319 Ra^{0,25} \left(\frac{h}{\delta} \right)^{-0,24}.$$

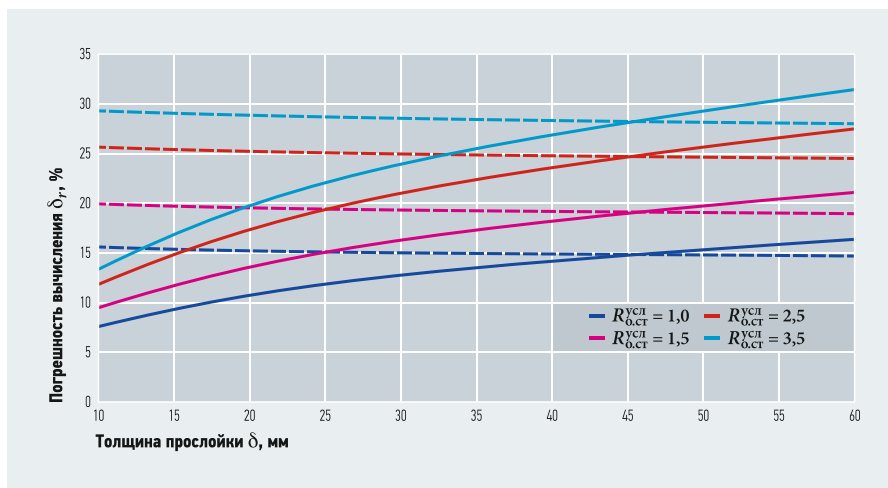


Рис. 4. Погрешность вычисления коэффициента теплотехнической однородности (сплошная — по формуле М. А. Михеева; пунктирная — по формуле Э. Эккерта)

На рис. 2 приведено сравнение сопротивления теплопередаче стеклопакетов по ГОСТ 24866–99 «Стеклопакеты клееные строительного назначения. Технические условия» и расчётные значения, полученные с использованием эквивалентной теплопроводности, вычисленной по решению сопряжённой задачи. Среднее значение ошибки расчёта составляет 3,7 %. Минимальная ошибка составляет 1,2 % для стеклопакета 4-Arg12-4-Arg12-K4, а максимальная — 8,25 % для стеклопакета 4-Arg16-4-Arg16-И4. Для оценки точности разработанного метода на основе эквивалентного коэффициента теплопроводности газовой прослойки окна при вычислении теплопотерь через стену с окном выполнено сравнение следующих вариантов:

1. Вычисление эквивалентной теплопроводности воздушной прослойки по формуле Михеева: $Nu = 0,18 Ra^{0,25}$.
2. Вычисление эквивалентной теплопроводности воздушной прослойки по формуле Эккерта:

$$Nu = 0,13 Ra^{0,3} \left(\frac{h}{\delta} \right)^{-0,1}.$$

3. Вычисление теплопроводности воздушной прослойки по вышеприведённым критериальным уравнениям, полученным обработкой результатов решения сопряжённой задачи конвективного и лучистого теплообмена.

Расчёты выполнены для наружной стены общей площадью 7,2 м² и степенью остекления 20 %. Окно с двухслойным остеклением и модулем 12 × 12. Толщина воздушной прослойки изменялась от 10 до 70 мм. Толщина стены принималась постоянной 640 мм. Условное сопротивление теплопередаче однородного участка стены $R_{0,ст}^{усл}$ изменялось в пределах от 1,0 до 3,5 (м²·К)/Вт за счёт изменения теплопроводности утепляющего слоя стены.

Сопротивление теплопередаче светопрозрачной части окна приведено на рис. 3. В качестве точного значения принято термическое сопротивление, полученное в результате решения сопряжённой задачи. Для метода с эквивалентным коэффициентом теплопроводности отличие от решения сопряжённой задачи не превышает 3,9 %. На рис. 3 приведены также значения сопротивления теплопередаче

светопрозрачной части окна, вычисленной при определении эквивалентной теплопроводности воздушной прослойки по формулам Михеева и Эккерта.

Установлено, что термическое сопротивление прослойки окна практически не зависит от толщины воздушной прослойки, что и получено для всех вариантов, кроме метода с использованием формулы Михеева, которая не содержит поправку на фактор формы h/δ . Погрешность вычисления сопротивления теплопередаче светопрозрачной части окна по формуле Михеева растёт с увеличением толщины прослойки и составляет 33–61 %. Использование формулы Эккера даёт почти одинаковую погрешность 53–55 %.

Погрешность вычисления коэффициента теплотехнической однородности стены с окном, полученная по формулам Михеева (сплошная линия) и Эккерта (пунктирная линия), в сравнении с методом вычисления эквивалентной теплопроводности воздушной прослойки приведена на рис. 4.

Коэффициент теплотехнической однородности для стен с $R_{0,ст}^{усл} = R_{0,ст}^{TP}$, принятый в соответствие с нормами Свода Правил 50.13330.2012, занижен на 25–29 % при использовании формулы Эккерта и на 14–43 % для формулы Михеева. Минимальная погрешность 8–17 % получена по формуле Михеева для прослоек толщиной 10–15 мм.

Следует отметить, что погрешность в вычислении коэффициента теплотехнической однородности приводит к аналогичной погрешности в определении теплопотребления здания, что сказывается как на условиях комфортности помещения, так и ошибке в конструктивном исполнении систем обеспечения микроклимата здания. ●

1. Глазов В.С., Горелов М.В., Яковлев И.В. Определение тепловых потерь через светопрозрачные ограждения зданий методом математического моделирования и тепловизионного обследования // Вестник МЭИ. 2010. №1. С. 6–12.
2. Петриченко М.Р., Петриченко М.В. Гидравлика свободно-конвективных течений в ограждающих конструкциях с воздушным зазором // Инженерно-строительный журнал. 2011. №8(26). С. 51–56.
3. Etzion Y., Erell E. Controlling the transmission of radiant energy through windows: a novel ventilated reversible glazing system // Building and Environment. 2000. No. 35. Pp. 433–444.
4. Jun Han, Lin Lu, Hongxing Yang. Numerical evaluation of the mixed convective heat transfer in a double-pane window integrated with see-through a-Si photovoltaic (PV) cells with low-e coatings // Applied Energy. 2010. Vol. 87. No. 11. Pp. 3431–3437.
5. De Giorgi L., Bertola V., Cafaro E. Thermal convection in double glazed windows with structured gap // Energy and Buildings. Vol. 43. No. 8. 2011. Pp. 2034–2038.
6. Корепанов Е.В. Численное моделирование процесса теплопередачи через стеклопакеты с газовым наполнением // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2004. №3. С. 29–32.

7. Корепанов Е.В. Свободная конвекция в воздушных прослойках окон с двойным остеклением // Известия вузов. Строительство. 2005. №2. С. 106–112.
8. Корепанов Е.В. Метод прогнозирования термического сопротивления окон // Журнал С.О.К., 2005. №2. С. 46–48.
9. Корепанов Е.В. Численное моделирование теплопередачи через окна с тройным остеклением // Известия вузов. Строительство, 2009. №7. С. 44–52.
10. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. — М.: Стройиздат, 1973. 287 с.
11. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учеб. для вузов. Изд. 3-е. — СПб.: АВОК Северо-Запад, 2006. 400 с.
12. Корепанов Е.В. Математическое моделирование теплопередачи через наружные стены зданий с окнами: Монография. — Ижевск, 2011. 192 с.
13. Могутов В.А. Новые принципы теплотехнических расчётов светопрозрачных конструкций // Светопрозрачные конструкции, 2009. №1–2. С. 40–43.
14. Борискина И.В., Шведов Н.В., Плотников А.А. Современные светопрозрачные конструкции гражданских зданий: Справ. проект-ка. Т. II. Оконные конструкции из ПВХ. — СПб.: Научно-информационный

учебно-производственный центр «Межрегиональный институт окна» (НИУПЦ «МИО»), 2005. 320 с.

15. Корепанов Е.В. Конвективные течения и теплообмен в воздушных полостях строительных изделий // Интеллектуальные системы в производстве, 2014. №2(24). С. 184–188.
16. Корепанов Е.В. Конвективный теплообмен в воздушных полостях ограждающих конструкций здания // Научные труды проекта SWorld, 2015. Т. 19. №2(39). С. 32–37.
17. Дроздов А.В., Савин В.К., Александров Ю.П. Теплообмен в светопрозрачных ограждающих конструкциях. — М., 1979. 307 с.
18. Александров Ю.П., Богдаренко Г.П., Дроздов В.А., Савин В.К. Руководство по теплотехническому расчёту светопрозрачных ограждений промышленных зданий: ЦНИИПромзданий Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1981. 49 с.
19. Корепанов Е.В. Конвекция в газовой прослойке окна с двойным остеклением // Светопрозрачные конструкции, 2009. №1–2. С. 62–64.
20. Корепанов Е.В. Критериальные уравнения конвективного теплообмена в воздушных прослойках тройной остекления // Светопрозрачные конструкции, 2009. №4. С. 15–17.

* References — see p. 95.

Selection criterial equations for the equivalent thermal conductivity of the translucent part of the window when calculating the heat loss through the wall. Pages 76–79.

E.V. Korepanov, PhD, Associated Professor, Head of Department of the Heat supply, Heating, Ventilation and Air Conditioning, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

1. Glazov V.S., Gorelov M.V., Yakovlev I.V. Opredelenie teplovyykh poter cherez svetoprozrachnyye ogradzheniya zdani metodom matematicheskogo modelirovaniya i teplovizionnogo obsledovaniya [Determination of thermal losses through the translucent building barrier by means of mathematical modeling and infrared inspection]. Vestnik MEI [Papers of the MPEI]. 2010. No. 1. Pp. 6–12.
2. Petrichenko M.R., Petrochenko M.V. Gidravlika svobodnokonvektivnykh techeni v ogradzhayushchikh konstruktivnykh s vozdushnym zazorom [Hydraulics of free-convective flows in the enclosing structures with an air gap]. Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal [Magazine of civil engineering]. 2011. Vol. 26. No. 8. Pp. 51–56.
3. Etzion Y., Erell E. Controlling the transmission of radiant energy through windows: a novel ventilated reversible glazing system. Building and Environment. 2000. No. 35. Pp. 433–444.
4. Jun Han, Lin Lu, Hongxing Yang. Numerical evaluation of the mixed convective heat transfer in a double-pane window integrated with see-through a-Si PV cells with low-e coatings. Applied Energy. 2010. Vol. 87. No. 11. Pp. 3431–3437.
5. De Giorgi L., Bertola V., Cafaro E. Thermal convection in double glazed windows with structured gap. Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. No. 8. Pp. 2034–2038.
6. Korepanov E.V. Chislennoe modelirovanie protsessa teploperedachi cherez steklopakety s gasovym napolneniem [Numerical simulation of heat transfer through glazing with gas filling]. Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova [Papers of Kalashnikov IzhSTU]. 2004. No. 3. Pp. 29–32.
7. Korepanov E.V. Svobodnaya konveksiya v vosdushnykh prosloykakh okon s dvoynym ostekleniem [Free convection in air layers of double glazed windows]. Izvestiya vysshykh uchebnykh zavedeni. Stroitel'stvo [Proc. of the universities. Construction]. 2005. No. 2. Pp. 106–112.
8. Korepanov E.V. Metod prognozirovaniya termicheskogo soprotivleniya okon [Method for prediction of thermal resistance of windows]. Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (S.O.K) [Journal of Plumbing, Heating, Air Conditioning and Ventilation]. 2005. No. 2. Pp. 46–48.
9. Korepanov E.V. Chislennoe modelirovanie teploperedachi cherez okon s troynym ostekleniem [Numerical simulation of heat transfer through triple glazed windows]. Izvestiya vysshykh uchebnykh zavedeni. Stroitel'stvo [Proc. of the universities. Construction]. 2009. No. 7. Pp. 44–52.
10. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ogradzhayushchikh konstruktov zdani [Building heat engineering of enclosing parts of buildings]. Moscow. Izdatel'stvo Stroyizdat ["Stroyizdat" Publishers]. 1973. 287 p.
11. Bogoslovski V.N. Stroitel'naya teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopleniya, ventilyatsii i konditsirovaniya vozducha): Ucheb. dlja vuzov. Izd. 3-e [Construction thermal physics (fundamental thermal physics of heating, ventilation and air conditioning systems). Textbook for universities. 3rd edition]. Saint-Petersburg. AVOK Severo-Zapad ["AVOK North-West"]. 2006. 400 p.
12. Korepanov E.V. Matematicheskoe modelirovanie teploperedachi cherez naruzhnyye steny zdani s oknami: Monografiya [Mathematical modeling of heat transfer through the exterior walls of buildings with windows. Monograph]. Izhevsk. 2011. 192 p.
13. Mogutov V.A. Novye prinzipy teplotekhnicheskikh raschetov svetoprozrachnykh konstruktov [New principles of thermal calculations of translucent structures]. Svetoprozrachnyye konstruktivnyye konstruktsii [Translucent constructions]. 2009. No. 1–2. Pp. 40–43.
14. Boriskina I.V., Shvedov N.V., Plotnikov A.A. Sovremennyye svetoprozrachnyye konstruktivnyye grazhdanskikh zdani. Spravochnik proektirovshchika. T. II. Okonnyye konstruktsii iz PVH [Modern translucent constructions of civil buildings. Directory of designer. Vol. II. Window design PVC]. Saint-Petersburg. NIUPS "Mezhhregionalniy institut okna" [Interregional institute of the window]. 2005. 320 p.
15. Korepanov E.V. Konvektivnyye techeniya i teploobmen v vozdushnykh polostyakh stroitelnykh izdeli [Convection flows and heat exchange in air spaces of construction units]. Intellektualnye sistemy v proizvodstve [Intelligent systems in production]. 2014. Vol. 24. No. 2. Pp. 184–188.
16. Korepanov E.V. Konvektivnyye teploobmen v vozdushnykh polostyakh ogradzhayushchikh konstruktivnykh zdaniya [Convective heat transfer in an air cavity walling building]. Nauchnye trudy SWorld [Proc. of the SWorld project]. 2015. T. 19. Vol. 39. No. 2. Pp. 32–37.
17. Drozdov A.V., Savin V.K., Aleksandrov Yu.P. Teploobmen v svetoprozrachnykh ogradzhayushchikh konstruktivnykh [Heat transfer in translucent enclosing structures]. Moscow. 1979. 307 p.
18. Aleksandrov Yu.P., Bondarenko G.P., Drozdov A.V., Savin V.K. Rukovodstvo po teplotekhnicheskomu raschetu svetoprozrachnykh ogradzheni promyshlennykh zdani. TsNIIPromzdani Gostroya SSSR [Guide when considering thermal design translucent enclosures industrial buildings. The Central Research Institute of Industrial Buildings of the State Committee of USSR for Construction and Municipal Complex]. Moscow. Izdatel'stvo Stroyizdat ["Stroyizdat" Publishers]. 1981. 49 p.
19. Korepanov E.V. Konveksiya v gazovoy prosloyke okna s dvoynym ostekleniem [Convection in the gas gap of double glazed windows]. Svetoprozrachnyye konstruktivnyye konstruktsii [Translucent constructions]. 2009. No. 1–2. Pp. 62–64.
20. Korepanov E.V. Kriterialnye uravneniya konvektivnogo teploobmena v vosdushnykh prosloykakh troynogo ostekleniya [Criteria equations for convective heat transfer in air layers of triple glazing]. Svetoprozrachnyye konstruktivnyye konstruktsii [Translucent constructions]. 2009. No. 4. Pp. 15–17.