

УДК 697.1

Крайнов Дмитрий Владимирович

кандидат технических наук

E-mail: dmitriy.kraynov@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Масленников Илья Александрович

инженер

E-mail: maslennikov.ilya.a@gmail.com

ООО «Брио Строй»

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань ул. Калинина, д. 60

Расчет приведенного сопротивления теплопередачи светопрозрачных конструкций из алюминиевых профилей

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – определение удельных потерь теплоты многокамерных алюминиевых профилей витражных систем с учетом влияния материала дистанционной рамки стеклопакета. Основным методом исследования является расчет двумерных стационарных температурных полей.

Результаты. По результатам проведенного численного моделирования рассчитаны теплотехнические характеристики алюминиевого профиля различных вариантов исполнения, определено влияние материала для изготовления дистанционной рамки стеклопакета на теплопотери через рассматриваемые элементы. На основе полученных данных выполнен расчет приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной ограждающей конструкции с различной раскладкой профилей рамы.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности использования удельных потерь теплоты многокамерных алюминиевых профилей при расчете теплотехнических характеристик светопрозрачных конструкций с произвольной раскладкой профилей, что особо актуально на этапе проектирования. Показано, что значительную долю (30-48 %) теплопотерь через светопрозрачные конструкции могут составлять дополнительные теплопотери через алюминиевый профиль. В зависимости от выбранного варианта исполнения витража приведенное сопротивление теплопередаче может варьироваться в пределах 15 %.

Ключевые слова: приведенное сопротивление теплопередаче, светопрозрачная конструкция, удельные потери теплоты, профиль, дистанционная рамка.

Для цитирования: Крайнов Д. В., Масленников И. А. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций из алюминиевых профилей // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 35–43.

1. Введение

Высокая неоднородность современных строительных конструкций не позволяет точно определить их теплотехнические свойства простыми вычислениями. В связи с этим становятся востребованы и современные методики теплотехнического расчета ограждающих конструкций, в частности расчет приведенного сопротивления теплопередаче с учетом влияния теплотехнических неоднородностей. Суть метода, как известно, заключается в учете дополнительных теплопотерь через линейные и точечные элементы конструкции [1, 2].

Как правило, наибольший объем тепловых потерь здания приходится на стены [3, 4]. В связи с этим, стеновые конструкции различных видов довольно подробно изучены [5-8], а данные для их проектирования и расчета представлены в нормативной литературе. В тоже время, наблюдается тенденция увеличения площади остекления здания [9]. Благодаря этому в современном строительстве высокими темпами растет применение светопрозрачных конструкции (СПК) с рамами из алюминиевого профиля.

Через последние возникают значительные дополнительные потери теплоты [10-12], которые необходимо корректно учитывать при расчете теплотехнических характеристик СПК и проектировании тепловой защиты здания.

Натурное испытание окон и витражей в большинстве случаев весьма продолжительно и затратно. К тому же, отсутствие опытной базы исследований такого плана осложняет и замедляет процесс проектирования. Поэтому возникает необходимость применения численных исследований элементов СПК. Кроме того, оценка температурного режима отдельных узлов ограждающих конструкций является самостоятельной задачей с точки зрения проверки санитарно-гигиенического требования.

Целью настоящей работы является определение удельных потерь теплоты через алюминиевые профили СПК с учетом применения различных дистанционных рамок стеклопакетов и нахождение приведенного сопротивления теплопередаче витражных систем в различном исполнении. В работе использовались численные методы расчета.

Для решения поставленной цели решались следующие задачи:

- построение геометрии всех вариантов профилей витражной конструкции;
- моделирование температурных полей для каждого вида профиля;
- оценка влияния материала дистанционной рамки стеклопакета;
- расчет приведенного сопротивления теплопередаче СПК.

2. Материалы и методы

В нормативной литературе (ГОСТ Р 54858-2011) приводится метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче СПК с использованием площадей прозрачной (центральной), непрозрачной (рама) частей и краевой зоны остекления, а также их теплотехнических характеристик. Однако использование описанного в СП 50.13330.2020 поэлементного метода расчета приведенного сопротивления теплопередаче для всех частей теплозащитной оболочки здания дает преимущество в единообразии при проектировании и расчетах. Поэтому в настоящей работе использован данный метод при расчете СПК, согласно которому, в качестве плоского элемента выступает стеклопакет в своей центральной (однородной) части, а в качестве линейных элементов принимаются узлы стыка стеклопакета с рамой, включая саму раму. Стоит отметить, что особое влияние на теплопотери в зоне стыка стеклопакета с рамой может оказывать дистанционная рамка стеклопакета [13-15]. Следовательно, в работе рассмотрены два варианта исполнения дистанционной рамки: из алюминия и ПВХ.

Для исследования выбран витраж из алюминиевых профилей с комбинированным открыванием (рис. 1). Стеклопакет принят двухкамерный толщиной 32 мм (4-10Ar-4-10Ar-И4). Сопротивление теплопередаче центральной части стеклопакета принято $0,78 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, согласно СП 345.1325800.2017. Стоит отметить, что теплозащитные свойства стеклопакетов являются отдельной исследовательской задачей [16].

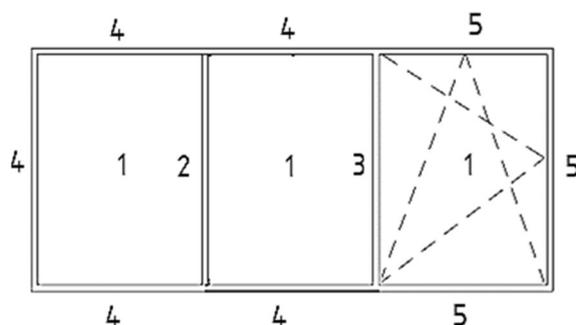


Рис. 1. Элементы светопрозрачной конструкции (иллюстрация авторов)

Для моделирования двумерных температурных полей узлов, содержащих профили и участки стеклопакетов, выполнен расчет стационарной теплопередачи. Численное решение находилось путем реализации метода конечных элементов с предварительным разбиением расчетной области на элементарные участки. В качестве объекта численного расчета были подготовлены плоские геометрии характерных участков, а именно: узлы

сопряжения витража с верхней, нижней и боковыми ограждающими конструкциями, узлы переплета (рис. 1, табл. 1).

Таблица 1

Перечень элементов СПК

1	Плоский элемент 1	двухкамерный стеклопакет толщиной 32 мм
2	Линейный элемент 1	стык сопряжения двух не открывающихся створок
3	Линейный элемент 2	стык сопряжения не открывающейся створки и створки с комбинированным открыванием
4	Линейный элемент 3	стык сопряжения не открывающейся створки и стены
5	Линейный элемент 4	стык сопряжения створки к комбинированным открыванием и стены

Профиль имеет набор полостей (камер), заполненных воздухом и не сообщающихся с наружной средой. Каждая камера имеет соответствующее термическое сопротивление, которое зависит от размеров, формы и места расположения камеры внутри профиля, материала профиля. Детальное определение теплозащитных свойств воздушных камер профиля и их влияние на удельные потери теплоты через профиль требует отдельного исследования. В рамках данной работы камеры рассмотрены как замкнутые воздушные прослойки. Для расчета эффективного коэффициента теплопроводности многочисленных воздушных прослоек профилей в каждом отдельном случае использовались данные их сопротивления теплопередачи в зависимости от толщины (табл. 2).

Таблица 2

Эффективные коэффициенты теплопроводности замкнутых воздушных полостей профилей

Толщина, мм	Термическое сопротивление, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	Эффективный коэффициент теплопроводности, $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$
150	0,15	1,0
50	0,14	0,357
30	0,14	0,214
20	0,14	0,143
10	0,13	0,077

Для оценки влияния материала дистанционной рамки стеклопакета рассмотрены два варианта ее исполнения: из алюминия толщиной 0,3 мм и ПВХ толщиной 1 мм. Размеры рамок: 5×10 мм. С помощью расчета дополнительных температурных полей определены эффективные коэффициенты теплопроводности дистанционных рамок при условии, что они заменяются однородным материалом. Полученные значения, используемые для дальнейших расчетов: $25 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$ для алюминиевой дистанционной рамки и $0,35 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$ для рамки из ПВХ.

В качестве исходных данных для расчета удельных потерь теплоты выступает температурное поле исследуемого узла. Каждый узел состоит из профиля и участка примыкающего стеклопакета. При расчете температурного поля узла на внутренней и внешней поверхностях расчетного участка принимаются граничные условия третьего рода, описывающие теплообмен между конструкцией и окружающей средой: на внутренней поверхности $t_{в}=20 \text{ °C}$, $\alpha_{в}=8 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C}$, на наружной поверхности $t_{н}=-25 \text{ °C}$, $\alpha_{н}=23 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C}$. Далее по результатам расчета двумерного температурного поля для каждого линейного элемента определяются:

1. поток теплоты через неоднородный участок, Q^L , Вт/м;
2. дополнительный поток теплоты через участок, ΔQ^L , Вт/м;
3. удельные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность (профиль), Ψ , $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$.

3. Результаты

В качестве примера рассмотрим результат расчета температурного поля линейного элемента 1: стыка сопряжения двух не открывающихся створок с алюминиевыми дистанционными рамками стеклопакета. На рис. 2 видно, что для случая с алюминиевой дистанционной рамкой температура на внутренней поверхности стеклопакета снижается в зоне стыка с профилем. В данной области возможно образование конденсата при расчетной температуре наружного воздуха. Для случая с ПВХ дистанционной рамкой данная неоднородность удовлетворяет санитарно-гигиеническим требованиям. Вдали от рассматриваемой неоднородности температура на внутренней поверхности стеклопакета является постоянно, что говорит о достаточном размере участков стеклопакета, принятым в расчете.

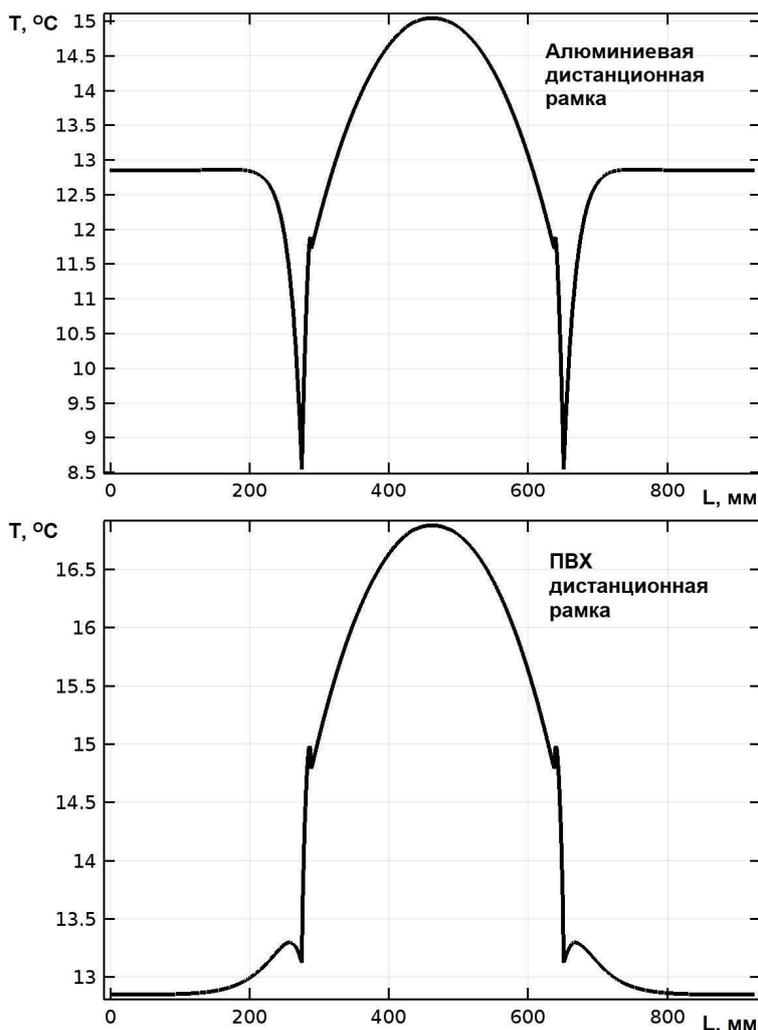


Рис. 2. Температура на внутренней поверхности линейного элемента 1 (иллюстрация авторов)

На основе результатов расчета температурного поля найдены потоки теплоты через линейные элементы, содержащие неоднородность и без таковой. Для линейного элемента 1 тепловой поток через неоднородный участок с алюминиевой дистанционной рамкой при принятых граничных условиях составил 51,35 Вт/м. Данное значение получено нахождением общего теплового потока, проходящего через внутреннюю или наружную поверхность узла. Далее найдены дополнительные тепловые потоки через элемент, содержащий неоднородность. Для линейного элемента 1 с алюминиевой дистанционной рамкой дополнительно теряется 16,735 Вт/м, что соответствует удельным потерям теплоты равным 0,372 Вт/м $\cdot^{\circ}\text{C}$. Результаты расчетов остальных линейных элементов СПК сведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета удельных потерь теплоты через профили

Элемент	Рамка алюминиевая			Рамка ПВХ		
	Q_L , Вт/м	ΔQ_L , Вт/м	Ψ , Вт/м·°C	Q_L , Вт/м	ΔQ_L , Вт/м	Ψ , Вт/м·°C
Линейный элемент 1	51,350	16,735	0,372	42,773	8,158	0,181
Линейный элемент 2	93,304	27,535	0,612	85,926	20,157	0,448
Линейный элемент 3	56,673	24,308	0,54	53,685	21,32	0,474
Линейный элемент 4	62,043	29,678	0,66	59,527	21,320	0,604

Имея значения удельных потерь теплоты через профили, можно переходить к расчету приведенного сопротивления теплопередаче витражных конструкций. Для этого определены геометрические характеристики элементов СПК различной конфигурации (рис. 3). В качестве рассматриваемых вариантов выбраны четыре раскладки для фасадного остекления: два варианта с возможностью открывания и два без таковой. Для всех вариантов габаритные размеры СПК приняты 4,02×2,95 м. Для примера в табл. 4 представлены геометрические и теплозащитные характеристики элементов светопрозрачной конструкции варианта 2 для расчета приведенного сопротивления теплопередаче.

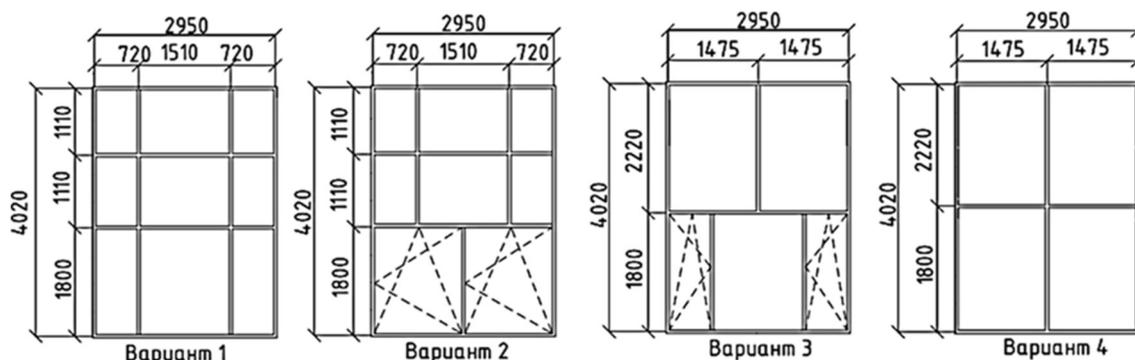


Рис. 3. Варианты светопрозрачных конструкций (иллюстрация авторов)

Таблица 4

Геометрические и теплозащитные характеристики элементов СПК (вариант 2)

Элемент	Абсолютная геометрическая характеристика	Относительная геометрическая характеристика	Рамка алюминиевая		Рамка ПВХ	
			Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты
Плоский элемент	11,86 м ²	1,0 м ² /м ²	1,282 Вт/м ² ·°C	1,282 Вт/м ² ·°C	1,282 Вт/м ² ·°C	1,282 Вт/м ² ·°C
Линейный элемент 1	7,39 м	0,62 м/м ²	0,372 Вт/м·°C	0,232 Вт/м ² ·°C	0,181 Вт/м·°C	0,113 Вт/м ² ·°C
Линейный элемент 2	4,75 м	0,40 м/м ²	0,612 Вт/м·°C	0,245 Вт/м ² ·°C	0,448 Вт/м·°C	0,179 Вт/м ² ·°C
Линейный элемент 3	7,39 м	0,62 м/м ²	0,54 Вт/м·°C	0,337 Вт/м ² ·°C	0,474 Вт/м·°C	0,295 Вт/м ² ·°C
Линейный элемент 4	6,55 м	0,55 м/м ²	0,66 Вт/м·°C	0,365 Вт/м ² ·°C	0,604 Вт/м·°C	0,334 Вт/м ² ·°C

Для всех вариантов раскладки фасадного остекления найдены удельные длины каждого вида профиля, рассчитаны приведенное сопротивление теплопередаче, $R_{пр}$, м²·°C/Вт, и коэффициент теплотехнической однородности, r (табл. 5).

Таблица 5

Теплотехнические характеристики различных вариантов СПК

Вариант раскладки	Стеклопакеты с рамкой из алюминия		Стеклопакеты с рамкой из ПВХ	
	R_{np} , м ² ·°С/Вт	r	R_{np} , м ² ·°С/Вт	r
1	0,425	0,54	0,487	0,62
2	0,407	0,52	0,454	0,58
3	0,426	0,55	0,467	0,60
4	0,468	0,60	0,514	0,66

4. Обсуждение

По результатам, представленным в табл. 3, можно сделать вывод, что применение дистанционной рамки из материала с меньшей теплопроводностью уменьшает удельные потери теплоты. Для рассматриваемых материалов данное снижение может достигать от 9 до 50 % в зависимости от неоднородности.

Анализ результатов табл. 5 показывает, что низкое значение коэффициента теплотехнической однородности СПК указывает на значительную долю (34-48 %) дополнительных теплопотерь через алюминиевый профиль. В зависимости от выбранного варианта исполнения СПК приведенное сопротивление теплопередаче может варьироваться в пределах 15 %, что указывает на необходимость расчета R_{np} для каждой СПК, применяемой в проекте. Наличие открывающихся створок снижает величину R_{np} СПК. Алюминиевая дистанционная рамка стеклопакета уменьшает приведенное сопротивление теплопередаче рассмотренных вариантов СПК на 9-13 % по сравнению с использованием ПВХ-рамки.

5. Заключение

1. Проведенное исследование показало высокую эффективность применения поэлементного метода при определении приведенного сопротивления теплопередаче СПК с различной раскладкой профилей. Использование данного метода расчета теплотехнических характеристик СПК позволяет вести проектирование тепловой защиты здания в рамках единой методики.

2. По результатам расчета температурных полей и удельных потерь теплоты через линейные неоднородные элементы СПК установлено, что значительная доля теплопотерь (42-48 %) приходится на профиль и область его стыка со стеклопакетом, куда входят дистанционные рамки. Для большинства рассмотренных узлов замена дистанционной рамки с алюминиевой на ПВХ позволяет снизить удельные линейные потери теплоты (на 9-50 %). Мероприятия по улучшению теплозащитных свойств СПК могут также включать в себя замену стеклопакета. Однако, такая замена приведет к перераспределению тепловых потоков через плоские и линейные элементы, что потребует дополнительных расчетов температурных полей.

3. Анализ полученных данных и масштабирование расчетов на большое количество применяемых в строительстве профилей СПК и стеклопакетов в дальнейшем может послужить основой для выбора и оценки эффективности применения того или иного решения с точки зрения окупаемости, что является, безусловно, перспективной задачей.

Список библиографических ссылок

1. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 4–12.
2. Козлов В. В. Вопросы точности расчета приведенного сопротивления теплопередаче и температурных полей // Строительство и реконструкция. 2018. № 3 (77). С. 62–74.
3. Kimmo H., Jukka L., Juha V. Glazed space thermal simulation with IDA-ICE 4.61 software-Suitability analysis with case study // Energy and Buildings. 2015. № 89. P. 132–141. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.12.041.

4. Rempel A. R., Rempel A. W., Cashman K. V., Gates K. N., Page C. J., Shaw B. Interpretation of passive solar field data with EnergyPlus models: un-conventional wisdom from four sunspaces in Eugene, Oregon // *Building and Environment*. 2013. № 60. P. 158–172. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.11.006.
5. Крайнов Д. В., Садыков Р. А. Определение дополнительных потоков теплоты через элементы фрагмента ограждающей конструкции // *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 10–12.
6. Петров А. С., Куприянов В. Н. О влиянии компьютерной модели узлов конструкций с теплотехнической неоднородностью на точность теплотехнических расчетов // *Приволжский научный журнал*. 2019. № 1. С. 32–38.
7. Вязова Т. О., Овсянников С. Н. Влияние объемных теплопроводных включений на расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2015. № 2 (49). С. 130–134.
8. Сурсанов Д. Н., Пономарев А. Б. Определение приведенного сопротивления теплопередаче самонесущей стеновой панели // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. 2015. № 4. С. 144–165.
9. Крайнов Д. В. Учет коэффициента остекленности фасада при проектировании тепловой защиты зданий // *Строительные материалы*. 2017. № 6. С. 32–34.
10. Куприянов В. Н., Иванцов А. И. Анализ расчетных методов по оценке сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций // *Приволжский научный журнал*. 2018. № 1. С. 33–42.
11. Asdrubali F., Baldinelli G. Influence of cavities geometric and emissivity properties on the overall thermal performance of aluminum frames for windows // *Energy and Buildings*. 2013. № 60. P. 298–309. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.01.028.
12. Baldinelli G., Bianchi F. Windows thermal resistance: Infrared thermography aided comparative analysis among finite volumes simulations and experimental methods // *Applied Energy*. 2014. № 136. P. 250–258. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.09.021.
13. Харламов Д. А. Температурный режим стеклопакетов в краевых зонах // *Проектирование и строительство в Сибири*. 2007. № 6 (42). С. 40–43.
14. Рыбаков М. М. Краевые зоны при устройстве светопрозрачных фасадов : сб. ст. 67-й научной конференции / Южно-Уральский государственный университет. Челябинск, 2015. С. 249–256.
15. Lechowska A. A., Schnotale J. A., Baldinelli G. Window frame thermal transmittance improvements without frame geometry variations: An experimentally validated CFD analysis // *Energy and Buildings*. 2017. № 145. P. 188–199. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.04.002.
16. Aguilar J. O., Xaman J., Álvarez G., Hernández-Pérez I., López-Mata C. Thermal performance of a double pane window using glazing available on the Mexican market // *Renewable Energy*. 2015. № 81. P. 785–794. DOI: 10.1016/j.renene.2015.03.063.

Kraynov Dmitry Vladimirovich

candidate of technical sciences

E-mail: dmitriy.kraynov@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Maslennikov Ilya Aleksandrovich

engineer

E-mail: maslennikov.ilya.a@gmail.com

LLC «Brio Stroy»

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Kalinina st., 60

Calculation of the reduced heat transfer resistance of translucent structures made of aluminum profiles

Abstract

Problem statement. The purpose of the research is to determine the specific heat loss of multi-chamber aluminum profiles of translucent structures by considering the influence of the material of the glass unit spacer. The primary method of research is the calculation of two-dimensional stationary temperature fields.

Results. Based on the results of the numerical simulation we calculated the thermal technical characteristics of the aluminum profile of various versions and determined the influence of the material for the manufacture of the spacer frame on the heat loss through the elements. Based on the obtained data we performed the calculation of the reduced heat transfer resistance of a translucent enclosing construction with a different layout of frame profiles.

Conclusions. The significance of research results for construction lies in the possibility of using the specific heat losses of multi-chamber aluminum profiles for calculating the thermal characteristics of translucent structures with a random layout of profiles, which is especially important at the design stage. It is shown that a significant proportion (30-48 %) of heat losses through translucent structures is additional heat loss through an aluminum profile. Depending on the selected configuration of the translucent structure, the reduced heat transfer resistance can vary within 15 %.

Keywords: reduced heat transfer resistance, translucent structure, specific heat loss, profile, spacer.

For citation: Kraynov D. V., Maslennikov I. A. Calculation of the reduced heat transfer resistance of translucent structures made of aluminum profiles // *Izvestija KGASU*. 2020. № 4 (54). P. 35–43.

References

1. Gagarin V. G., Kozlov V. V. Theoretical background for calculating the reduced heat transfer resistance of building envelopes // *Stroitel'nyye materialy*. 2010. № 12. P. 4–12.
2. Kozlov V. V. Accuracy of calculation of the reduced heat transfer resistance and temperature fields // *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2018. № 3 (77). P. 62–74.
3. Kimmo H., Jukka L., Juha V. Glazed space thermal simulation with IDA-ICE 4.61 software-Suitability analysis with case study // *Energy and Buildings*. 2015. № 89. P. 132–141. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.12.041.
4. Rempel A. R., Rempel A. W., Cashman K. V., Gates K. N., Page C. J., Shaw B. Interpretation of passive solar field data with EnergyPlus models: un-conventional wisdom from four sunspaces in Eugene, Oregon // *Building and Environment*. 2013. № 60. P. 158–172. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.11.006.
5. Kraynov D. V., Sadykov R. A. Determination of additional heat fluxes through the elements of a fragment of the building envelope // *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2012. № 6. P. 10–12.
6. Petrov A. S., Kupriyanov V. N. concerning the influence of the computer model of structural units with heat engineering heterogeneity on the accuracy of heat engineering calculations // *Privolzhsky scientific journal*. 2019. № 1. P. 32–38.
7. Vyazova T. O., Ovsyannikov S. N. The influence of volumetric heat-conducting inclusions on the calculation of the reduced heat transfer resistance of the enclosing structure // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2015. № 2 (49). P. 130–134.
8. Sursanov D. N., Ponomarev A. B. Determination of the reduced heat transfer resistance of a self-supporting wall panel // *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2015. № 4. P. 144–165.
9. Kraynov D. V. Accounting the glazing factor of facade in designing thermal protection of the building // *Stroitel'nyye materialy*. 2017. № 6. P. 32–34.

10. Kupriyanov V. N., Ivantsov A. I. Analysis of calculating methods for estimation of resistance of translucent constructions to heat transfer // *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal*. 2018. № 1. P. 33–42.
11. Asdrubali F., Baldinelli G. Influence of cavities geometric and emissivity properties on the overall thermal performance of aluminum frames for windows // *Energy and Buildings*. 2013. № 60. P. 298–309. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.01.028.
12. Baldinelli G., Bianchi F. Windows thermal resistance: Infrared thermography aided comparative analysis among finite volumes simulations and experimental methods // *Applied Energy*. 2014. № 136. P. 250–258. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.09.021.
13. Kharlamov D. A. Temperature condition of double-glazed windows in edge zones // *Proyektirovaniye i stroitel'stvo v Sibiri*. 2007. № 6 (42). P. 40–43.
14. Rybakov M. M. Edge zones at the creation translucent facades : dig. of art. 67th scientific conference / South Ural State University. Chelyabinsk, 2015. P. 249–256.
15. Lechowska A. A., Schnotale J. A., Baldinelli G. Window frame thermal transmittance improvements without frame geometry variations: An experimentally validated CFD analysis // *Energy and Buildings*. 2017. № 145. P. 188–199. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.04.002.
16. Aguilar J. O., Xaman J., Álvarez G., Hernández-Pérez I., López-Mata C. Thermal performance of a double pane window using glazing available on the Mexican market // *Renewable Energy*. 2015. № 81. P. 785–794. DOI: 10.1016/j.renene.2015.03.063.