

**А.Д. Кривошеин,**

кафедра «Городское строительство и хозяйство»,  
ИСИ Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск

## Расчетные методы оценки теплозащитных качеств светопрозрачных конструкций

Приведенное сопротивление теплопередаче является одним из определяющих показателей современных светопрозрачных конструкций.

Требуемая величина этого показателя изменяется в достаточно широких пределах [1] и зачастую предопределяет выбор того или иного конструктивного решения.

В настоящее время оценка приведенного сопротивления светопрозрачных конструкций производится в основном по результатам испытаний в климатической камере согласно ГОСТ 26602.1-99 [2].

Расчетные методы ограничиваются либо пересчетом результатов испытаний с учетом отношения площади остекления к площади оконного блока [2, 3], либо моделированием температурного режима конструкций с применением специальных компьютерных программ расчета двух – или трехмерных температурных полей [3].

Вместе с тем, на практике достаточно часто возникает необходимость оперативной оценки теплозащитных качеств светопрозрачных конструкций, анализа эффективности применения тех или иных профильных систем, стеклопакетов, дистанционных рамок и т.п.

Ситуация осложняется тем, что показатели профильных систем, стеклопакетов и оконных блоков, полученные в результате испытаний [2], зачастую имеют существенные расхождения, обусловленные как погрешностью испытательного оборудования отдельных лабораторий, так и особенностями методики проведения испытаний различных конструкций. В частности, при испытании профильных систем согласно [2] светопрозрачная часть оконного блока заменяется теплоизоляционной плитой. Соответственно, полученные результаты приведенного сопротивления теплопередаче непрозрачной части оконного блока (профильной системы) получаются несколько выше, чем при аналогичных испытаниях со стеклопакетом. В свою очередь результаты испытаний стеклопакетов, оконных блоков существенно зависят от их размеров, формы, типа и материала дистанционных рамок, глубины посадки стеклопакета в переплетах и пр. Не говоря уже о различных вариантах заполнения непрозрачной части балконных дверей.

В результате – и проектировщики и оконные фирмы оперируют цифрами, полученными при проведении испытаний какого-то «усредненного» оконного блока (размеры которого, как правило, задавались под размеры испытательной камеры), в лучшем случае пересчитанных для отношения площади остекления к общей площади блока  $\beta = 0,7$ .

В данной статье излагаются основные положения одного из расчетных методов оценки приведенного сопротивления теплопередаче оконных и дверных балконных блоков, основанного на использовании известных характеристик профильных систем и остекления.

### Основные положения расчетного метода

Сущность метода заключается в определении приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции как интегральной величины, характеризующей суммарные потери тепла через переплеты, остекление и непрозрачные участки заполнения балконных дверей, с учетом особенностей передачи тепла в краевых зонах.

Под краевыми зонами понимаются линейные участки (зоны) сопряжения заполнения светопрозрачной части оконного блока или непрозрачной части балконной двери с переплетами (рис.1).

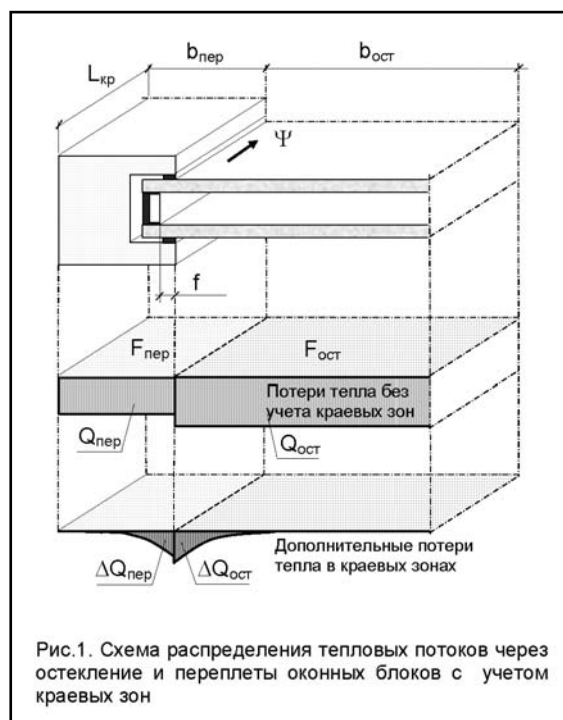


Рис.1. Схема распределения тепловых потоков через остекление и переплеты оконных блоков с учетом краевых зон



**Таблица 1. Значения линейного коэффициента теплопередачи  $\Psi_{\text{ост}}$  для листового стекла**

| Толщина стекла, мм | Значения линейного коэффициента теплопередачи $\Psi_{\text{ост}}$ |
|--------------------|---|
| 4                  | 0,030   |
| 6                  | 0,035   |
| 8                  | 0,041   |
| 10                 | 0,047   |

**Таблица 2. Значения линейного коэффициента теплопередачи  $\Psi_{\text{ост}}$  для стеклопакетов**

| Ширина дистанционных рамок | Значения линейного коэффициента теплопередачи $\Psi_{\text{ост}}$ при различной степени заглубления дистанционной рамки относительно грани штапика f |       |        |  |       |        |  |       |        |
|----------------------------|--|-------|--------|--|-------|--------|--|-------|--------|
|                            | Дистанционные рамки из алюминиевых сплавов   |       |        | Дистанционные рамки из нержавеющей стали |       |        | Дистанционные рамки из ПВХ, Termix, TPS и т.п. |       |        |
|                            | f = 0  | f = 5 | f = 10 | f = 0                                    | f = 5 | f = 10 | f = 0  | f = 5 | f = 10 |
| Однокамерные стеклопакеты  |  |       |        |  |       |        |  |       |        |
| 6                          | 0,03   | 0,03  | 0,02   | 0,03                                     | 0,03  | 0,03   | 0,01   | 0,01  | 0,01   |
| 10                         | 0,04   | 0,03  | 0,03   | 0,04                                     | 0,03  | 0,03   | 0,01   | 0,02  | 0,02   |
| 14                         | 0,05   | 0,04  | 0,03   | 0,05                                     | 0,04  | 0,03   | 0,02   | 0,03  | 0,03   |
| 18                         | 0,06   | 0,05  | 0,04   | 0,06                                     | 0,05  | 0,04   | 0,03   | 0,04  | 0,04   |
| 22                         | 0,07   | 0,06  | 0,05   | 0,07                                     | 0,06  | 0,05   | 0,04   | 0,04  | 0,04   |
| Двухкамерные стеклопакеты  |  |       |        |  |       |        |  |       |        |
| 6                          | 0,05   | 0,04  | 0,03   | 0,05                                     | 0,05  | 0,04   | 0,03   | 0,03  | 0,03   |
| 10                         | 0,06   | 0,06  | 0,05   | 0,05                                     | 0,05  | 0,05   | 0,04   | 0,04  | 0,03   |
| 14                         | 0,07   | 0,07  | 0,06   | 0,06                                     | 0,05  | 0,05   | 0,04   | 0,04  | 0,04   |
| 18                         | 0,08   | 0,07  | 0,06   | 0,06                                     | 0,07  | 0,07   | 0,04   | 0,04  | 0,04   |
| 22                         | 0,08   | 0,08  | 0,07   | 0,07                                     | 0,07  | 0,04   | 0,04   | 0,04  | 0,04   |

**Примечания.**  
 1. Значения  $\Psi_{\text{ост}}$ , представленные в таблице, соответствуют дистанционным рамкам с толщиной стенок: из алюминия и нержавеющей стали - 0,25 мм; из ПВХ - 1,0 мм; для рамок типа TPS - 5-7 мм.  
 2. Значения  $\Psi_{\text{ост}}$ , представленные в таблице, рассчитаны для оконных блоков из древесины и ПВХ. Для оконных блоков из алюминиевых сплавов с термовставками, представленные значения следует увеличить на 15%.  
 3. Для оконных блоков из алюминиевых сплавов без термовставок  $\Psi_{\text{ост}} = 0$ .

Общие потери тепла через оконный или дверной балконный блок  $Q_{\text{о бл}}$  складываются из:

- потерь тепла через переплеты -  $Q_{\text{пер}}$ ;
  - потерь тепла через светопрозрачную часть -  $Q_{\text{ост}}$ ;
  - потерь тепла через непрозрачную часть заполнения балконных дверей -  $Q_{\text{непр}}$ ;
  - дополнительных потерь тепла в краевых зонах на участках сопряжения переплетов с заполнением светопрозрачной части -  $\Delta Q_{\text{кр ост}}$ ;
  - дополнительных потерь тепла в краевых зонах на участках сопряжения переплетов с непрозрачным заполнением балконных дверей -  $\Delta Q_{\text{кр непр}}$
- $$Q_{\text{о бл}} = Q_{\text{пер}} + Q_{\text{ост}} + Q_{\text{непр}} + \Delta Q_{\text{кр ост}} + \Delta Q_{\text{кр непр}}, \quad (1)$$

Под дополнительными потерями тепла в краевых зонах подразумеваются повышенные потери тепла на участках сопряжения переплетов оконных и дверных балконных блоков с остеклением или непрозрачным заполнением. Дополнительные потери тепла в краевых зонах обусловлены наличием уплотнительных и герметизирующих материалов, дистанционных рамок различного конструктивного решения, оказывающих влияние на тепловой режим остекления - по сравнению с центральной термически однородной зоной, и переплетов - по сравнению с потерями тепла через переплеты при заполнении светопрозрачной части теплоизоляционной плитой по ГОСТ 26602.1-99 [2].

Величина дополнительных потерь тепла в краевых зонах учитывается линейным коэффициентом теплопередачи  $\Psi$  [4].

В общем случае величина приведенного сопротивления теплопередаче оконного или дверного балконного блока  $R_{\text{о бл}}$  может быть рассчитана по формуле

$$R_{\text{о бл}} = \frac{F_{\text{о бл}}}{F_{\text{пер}}/R_{\text{о пер}} + F_{\text{ост}}/R_{\text{о ост}} + F_{\text{непр}}/R_{\text{о непр}} + \Psi_{\text{ост}} \times L_{\text{ост}} + \Psi_{\text{непр}} \times L_{\text{непр}}}, \quad (2)$$

где  $F_{\text{о бл}}$  - общая площадь оконного блока, м<sup>2</sup>;  $F_{\text{пер}}$ ,  $F_{\text{ост}}$ ,  $F_{\text{непр}}$  - площади соответственно переплетов, остекления и непрозрачного заполнения балконных дверей, м<sup>2</sup>;  $R_{\text{о пер}}$ ,  $R_{\text{о ост}}$ ,  $R_{\text{о непр}}$  - приведенное сопротивление теплопередаче соответственно переплетов, остекления и непрозрачного заполнения балконных дверей, м<sup>2</sup> × °С/Вт;  $\Psi_{\text{ост}}$ ,  $\Psi_{\text{непр}}$  - линейные коэффициенты теплопередачи в краевых зонах соответственно остекления и непрозрачного заполнения балконных дверей, Вт/(м×°С);  $L_{\text{ост}}$ ,  $L_{\text{непр}}$  - длина краевых зон, м.

При проведении расчетов  $R_{\text{о бл}}$  величины  $\Psi_{\text{ост}}$ ,  $\Psi_{\text{непр}}$  принимаются по справочным данным в зависимости от конструктивного решения стеклопакетов, типа и материала дистанционных рамок, заглубления дистанционных рамок в переплете (см. табл. 1, 2).

При необходимости величина  $\Psi$  может быть уточнена на основании моделирования температурного режима конструкции по специальным компьютерным программам.

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче оконного или дверного балконного блока проводится по расчетной схеме, составленной с учетом следующих допущений и ограничений:



- криволинейные очертания отдельных элементов, а также конструкции сложной формы заменяются прямыми линиями и прямоугольными фигурами;
- одинарные и спаренные переплеты представляются в виде единого элемента, размерами и конфигурацией аналогичного рассчитываемой конструкции;
- отдельные переплеты представляются в виде двух составных элементов, состоящих из наружного переплета (наружной створки с частью оконной коробки) и внутреннего переплета (внутренней створки с частью оконной коробки);
- спаренные переплеты представляются в виде одного элемента, включающего оконную коробку и две створки;
- толщина стеклопакетов или листового стекла, глубина их посадки в профиле, а также величина заглубления дистанционных рамок стеклопакетов относительно грани штапиков принимаются равными геометрическим размерам рассчитываемой конструкции.

Примеры расчетных схем некоторых конструктивных решений оконных блоков приведены на рисунке 2.

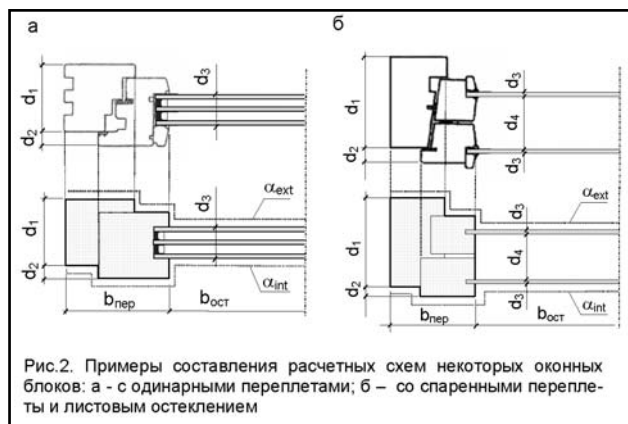


Рис.2. Примеры составления расчетных схем некоторых оконных блоков: а - с одинарными переплетами; б - со спаренными переплетами и листовым остеклением

Геометрические размеры и площади оконных блоков определяются с учетом следующих правил:

- общая площадь оконного блока  $F_{\text{бл}}$  определяется по габаритным размерам;
- площадь остекления  $F_{\text{ост}}$  определяется по наименьшим размерам «в свету»;
- площадь непрозрачного заполнения балконных дверей  $F_{\text{непр}}$  определяется аналогично остеклению - по наименьшим размерам «в свету»;
- площадь переплетов  $F_{\text{пер}}$  рассчитывается как разность между общей площадью оконного блока  $F_{\text{бл}}$ , площадью остекления  $F_{\text{ост}}$  и площадью непрозрачной части заполнения балконных дверей  $F_{\text{непр}}$ ;
- длина краевой зоны  $L_{\text{ост}}$ ,  $L_{\text{непр}}$  принимается равной суммарной длине участков сопряжения остекления или непрозрачного заполнения с переплетами.

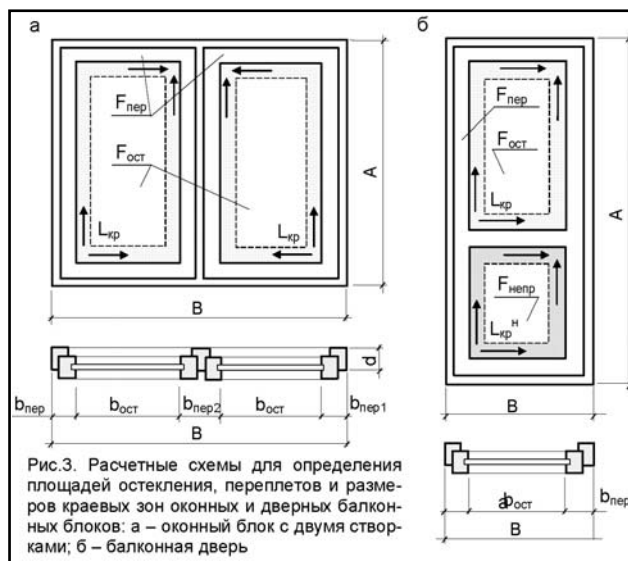


Рис.3. Расчетные схемы для определения площадей остекления, переплетов и размеров краевых зон оконных и дверных балконных блоков: а - оконный блок с двумя створками; б - балконная дверь

Расчетные схемы для определения площадей остекления, переплетов, размеров краевых зон некоторых оконных и дверных балконных блоков приведены на рисунке 3.

### Оконные блоки с одинарными переплетами

Приведенное сопротивление теплопередаче оконных и дверных балконных блоков с одинарными переплетами и остеклением стеклопакетами или листовым стеклом (см. рис. 2 а) рассчитывается по формуле (2) с учетом следующих особенностей:

- величина приведенного сопротивления теплопередаче переплетов  $R_{\text{пер}}$  принимается по результатам испытаний в соответствии с [2] или по результатам расчетов температурных полей при замене остекления теплоизоляционной плитой с коэффициентом теплопроводности  $\lambda \leq 0,035$  Вт/(м °С);
- при использовании в переплетах профилей с различными теплозащитными качествами (например, импостов, штульповых притворов и т.п.) их площадь может рассчитываться отдельно и вводиться в расчет с учетом фактического сопротивления теплопередаче;
- сопротивление теплопередаче остекления (светопрозрачной части)  $R_{\text{ост}}$  принимается для центральной термически однородной зоны - по результатам испытаний или по справочным данным;
- величина приведенного сопротивления теплопередаче непрозрачного заполнения балконных дверей  $R_{\text{непр}}$  рассчитывается с учетом толщины  $d_i$  и коэффициентов теплопроводности  $\lambda_i$  материала отдельных слоев по формуле

$$R_{\text{непр}} = 1/\alpha_{\text{ext}} + \sum d_i/\lambda_i + 1/\alpha_{\text{int}}, \quad (3)$$

где  $\alpha_{\text{int}}$ ,  $\alpha_{\text{ext}}$  - коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей, Вт/(м<sup>2</sup> × °С), принимаемые согласно [3].

### Оконные блоки с отдельными переплетами

Приведенное сопротивление теплопередаче оконных блоков с отдельными переплетами (см. рис. 2) рассчитывается как сумма приведенных сопротивлений теплопередаче двух оконных блоков с учетом термического сопротивления замкнутой воздушной прослойки, расположенной между ними

$$R_{\text{бл}} = R_{\text{бл}1} + R_{\text{бл}2} + R_{\text{а}} - 1/\alpha_{\text{int}} - 1/\alpha_{\text{ext}}, \quad (4)$$

где  $R_{\text{бл}1}$  - приведенное сопротивление теплопередаче блока, состоящего из наружной створки и части примыкающей оконной коробки, м<sup>2</sup> × °С/Вт;  $R_{\text{бл}2}$  - приведенное сопротивление теплопередаче блока, состоящего из внутренней створки и части примыкающей оконной коробки, м<sup>2</sup> × °С/Вт;  $R_{\text{а}}$  - термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, м<sup>2</sup> × °С/Вт, принимаемое по справочным данным.

Приведенное сопротивление теплопередаче  $R_{\text{бл}1}$  и  $R_{\text{бл}2}$  рассчитывается по формуле (2) с учетом геометрических размеров конструкций и заполнения светопрозрачной части (рис. 4).

Величины приведенного сопротивления теплопередаче переплетов  $R_{\text{пер}1}$  и  $R_{\text{пер}2}$  принимаются либо по результатам испытаний согласно [2], либо по результатам расчетов температурных полей.

### Оконные блоки со спаренными переплетами

Приведенное сопротивление теплопередаче оконных блоков со спаренными переплетами (см. рис. 2 б) рассчитывается по формуле (2) с учетом следующих особенностей:

- приведенное сопротивление теплопередаче переплетов принимается по результатам испытаний в соответствии с [2] или рассчитывается по компьютерной программе расчета температурных полей как одного элемента, состоящего из коробки и двух створок (рис. 5);
- сопротивление теплопередаче остекления  $R_{\text{ост}}$  рассчитывается по формуле

$$R_{\text{ост}} = R_{\text{ост}1} + R + R_{\text{ост}2} - 1/\alpha_{\text{ext}} - 1/\alpha_{\text{int}}, \quad (5)$$



где  $R_{o,ост1}$ ,  $R_{o,ост2}$  – сопротивление теплопередаче остекления наружной и внутренней створок,  $m^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $R_o$  – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, расположенной между остеклением наружной и внутренней створок.

При остеклении створок листовым стеклом или стеклопакетами (см. рис.5) сопротивление теплопередаче остекления  $R_{o,ост,i}$  может быть рассчитано по формуле

$$R_{o,ост,i} = \frac{F_{ост,i}}{F_{ост,i}/R_{o,ост,центр,i} + \Psi_{ост} \times L_{ост}}, \quad (6)$$

где  $F_{ост,i}$  – площадь остекления (стекла или стеклопакета),  $m^2$ ;  $R_{o,ост,центр,i}$  – сопротивление теплопередаче остекления в центральной термически однородной зоне,  $m^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $\Psi_{ост}$ ,  $L_{ост}$  – аналогично (2).

Величина  $R_{o,ост,центр,i}$  для стеклопакетов может быть принята по справочным данным или результатам испытаний, для листового стекла - рассчитана по формуле

$$R_{o,ост,центр,i} = 1/\alpha_{ext} + d_i/\lambda_i + 1/\alpha_{int}, \quad (7)$$

где  $d_i$  – толщина стекла,  $m$ ;  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности стекла,  $\text{Вт}/(m \times \text{°C})$ .

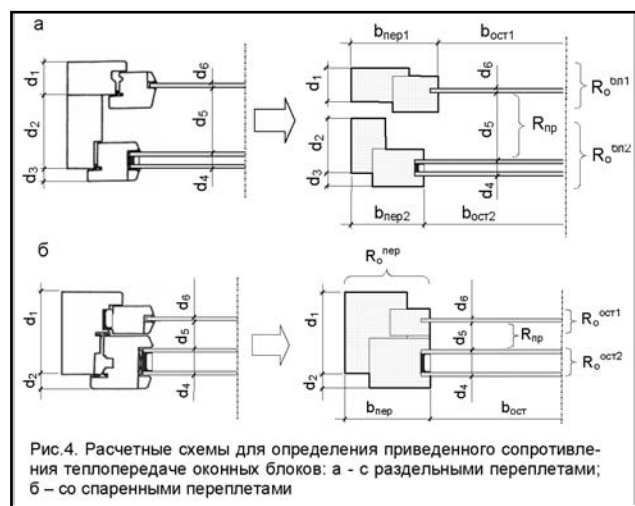


Рис.4. Расчетные схемы для определения приведенного сопротивления теплопередаче оконных блоков: а - с отдельными переплетами; б - со спаренными переплетами

**Пример №1.** Определить приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока из ПВХ-профилей фирмы «Kommerling» серии «EuroFutur» – ОП ОСП 15-15 ГОСТ 30674-99 с двухкамерными стеклопакетами из обычного стекла СПД 4М1-12-4М1-12-4М1 ГОСТ 24866-99 (рис. 5).

Дистанционные рамки стеклопакетов - из нержавеющей стали.

Приведенное сопротивление теплопередаче профильной системы по результатам сертификационных испытаний -  $R_{o,пер} = 0,79 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}$ . Приведенное сопротивление теплопередаче центральной зоны стеклопакетов -  $R_{o,ост} = 0,52 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}$ .

В соответствии с исходными данными:  $F_o^{бл} = 2,146 \text{ м}^2$ ;  $F_{ост} = 1,529 \text{ м}^2$ ;  $F_{пер} = 0,617 \text{ м}^2$ ;  $L_{ост} = 7,5 \text{ м}$ .

По таблице 2 принимаем для двухкамерного стеклопакета с дистанционными рамками из нержавеющей стали при глубине посадки стеклопакета в переплетах  $f = 5 \text{ мм}$  -  $\Psi_{ост} = 0,05$ .

Рассчитываем величину приведенного сопротивления теплопередаче оконного блока в целом

$$R_{o,ок} = \frac{2,146}{0,617/0,79 + 1,529/0,52 + 0,05 \times 7,5} = 0,53 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}.$$

**Пример №2.** Определить приведенное сопротивление теплопередаче деревянного оконного блока в спаренных переплетах ОД ССП 15-15 ГОСТ 11214-2003

с листовым остеклением и однокамерным стеклопакетом СПО 4М1-12-И4 ГОСТ 24866-99 (рис. 4).



Рис.5. Основные размеры оконного блока из ПВХ-профилей (к примеру расчета №1)

Приведенное сопротивление теплопередаче переплета по результатам расчета температурных полей составляет -  $R_{o,пер} = 0,85 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}$ . Термическое сопротивление воздушной прослойки -  $R_{вп} = 0,16 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}$ . Приведенное сопротивление теплопередаче центральной зоны стеклопакета -  $R_{o,ост} = 0,56 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}$ .

Рассчитываем сопротивление теплопередаче листового стекла толщиной 4 мм:

$$R_{o,ст} = 1/8,0 + 0,004/0,76 + 1/23,0 = 0,173 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}.$$

В соответствии с исходными данными определяем:

$$F_o^{бл} = 2,146 \text{ м}^2; F_{ост}^в = 1,411 \text{ м}^2; F_{ост}^н = 1,411 \text{ м}^2; F_{пер} = 0,735 \text{ м}^2; L_{ост} = 7,28 \text{ м}.$$

По таблице 1 принимаем для листового стекла толщиной 4 мм -  $\Psi_{ост} = 0,03$ ; для однокамерного стеклопакета по таблице 2 -  $\Psi_{ост} = 0,04$  ( $f = 0 \text{ мм}$ ).

Рассчитываем величину приведенного сопротивления теплопередаче остекления наружной части

$$R_{o,ост,н} = 1,411/(1,411/0,173 + 0,03 \times 7,28) = 0,169 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}.$$

Рассчитываем величину приведенного сопротивления теплопередаче остекления внутренней части

$$R_{o,ост,в} = 1,411/(1,411/0,56 + 0,04 \times 7,28) = 0,502 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}.$$

Рассчитываем приведенное сопротивление теплопередаче остекления

$$R_{o,ост} = 0,169 + 0,502 + 0,16 - 1/8,0 - 1/23,0 = 0,663 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}.$$

Рассчитываем приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока в целом

$$R_{o,ок} = 2,146/(1,411/0,663 + 0,735/0,85) = 0,72 \text{ м}^2 \text{°C}/\text{Вт}.$$

Список использованных источников

1. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.
2. ГОСТ 26602.1-99. Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче.
3. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий.
4. EN ISO 10077-1:2000. Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten. Teil 1: Vereinfachtes Verfahren.