

**В.А. Майоров**

# **ПЕРЕДАЧА ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ ОКНА**



**В.А. Майоров**

# **ПЕРЕДАЧА ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ ОКНА**



Москва  
Издательство АСВ  
2014

*Рецензенты:*

к.т.н., с.н.с., зав. сектором «Светопрозрачные конструкции» лаборатории ОРЗС кафедры «Испытание сооружений» МГСУ *И.В. Борискина*  
к.т.н., профессор кафедры «Архитектура гражданских и промышленных зданий» МГСУ *А.А. Плотников*

**Майоров В.А.**

Передача теплоты через окна: Учеб. пособие. Издательство АСВ, – М.: 2014. – 120 с.

ISBN 978-5-93093-926-2

В учебном пособии приведены результаты подробного анализа процессов лучистого и конвективного переноса теплоты через окна как по отдельности, так и при их взаимном воздействии друг на друга. Предложенный метод раздельно-объединенного анализа дает возможность выявить физические особенности каждого из трех указанных процессов. Исследовано влияние многочисленных параметров на теплопередающие характеристики окон и определены возможности снижения теплопотерь через стеклопакеты как за счет увеличения числа стекол и изменения расстояния между ними, так и за счет применения низкоэмиссионных стекол и заполнения межстекольного пространства низкотеплопроводными газами.

Для процесса совместного радиационно-конвективного переноса теплоты через окно определены лучистая и конвективная составляющие теплового потока на каждом из участков – на внешней и внутренней поверхностях окна, в межстекольном пространстве. Обнаружен эффект синергии лучистой и конвективной составляющих, при котором результирующий радиационно-конвективный тепловой поток больше суммы составляющих при раздельном анализе. Определено оптимальное сочетание параметров стеклопакета, при которых достигаются минимальные теплопотери через окно.

Выполнен анализ термограмм, полученных в ходе тепловизионного обследования оконных блоков различной конструкции. Показано, что такие данные позволяют определить не только качество изготовления и монтажа оконных блоков, но и установить как качественное, так и количественное соотношение между термическими сопротивлениями оконных блоков. Выполнена оценка воздействия инфильтрации воздуха на величину тепловых потерь через окна.

Для преподавателей и специалистов в области теплотехники и строительной теплофизики (*специальностей 140104 и 270109*).

ISBN 978-5-93093-926-2

© Издательство АСВ, 2014

© Майоров В.А., 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
<b>1. ПЕРЕДАЧА ТЕПЛОТЫ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЧЕРЕЗ ОКНО .....</b>	<b>7</b>
1.1. Одинарное стекло .....	7
1.2. Двойное стекло .....	14
1.3. Тройное остекление.....	26
<b>2. ПЕРЕДАЧА ТЕПЛОТЫ КОНВЕКЦИЕЙ ЧЕРЕЗ ОКНО .....</b>	<b>29</b>
2.1. Влияние величины межстекольного зазора на теплопотери через однокамерный стеклопакет.....	29
2.2. Влияние температуры наружного воздуха на термическое сопротивление стеклопакета .....	40
2.3. Повышение термического сопротивления стеклопакета .....	48
<b>3. СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗДЕЛЬНЫХ И ОБЪЕДИНЕННОГО ПРОЦЕССОВ ЛУЧИСТОГО И КОНВЕКТИВНОГО ПЕРЕНОСА ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ СТЕКЛОПАКЕТ .....</b>	<b>56</b>
3.1. Постановка задачи .....	56
3.2. Решение задачи .....	59
3.3. Анализ результатов .....	63
<b>4. ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОКОННЫХ БЛОКОВ .....</b>	<b>83</b>
4.1. Методика обработки результатов тепловизионного обследования .....	83
4.2. Методика проведения тепловизионного обследования оконных блоков .....	89
4.3. Анализ термограмм .....	90
<b>5. ВЛИЯНИЕ ИНФИЛЬТРАЦИИ НА ПЕРЕДАЧУ ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ ОКНА .....</b>	<b>99</b>
5.1. Плотность потока массы инфильтрационного воздуха через окно.....	99
5.2. Величина тепловых потерь через окна с инфильтрацией ...	109
5.3. Расчет срока окупаемости замены оконных блоков .....	112
5.4. Влияние характеристик оконных блоков с деревянными переплетами на срок окупаемости их замены на пластиковые со стеклопакетами .....	114
Литература .....	116

## ВВЕДЕНИЕ

Энергосбережение при отоплении промышленных и гражданских зданий и сооружений в настоящее время является актуальной проблемой для России. Это обусловлено прежде всего значительным ростом стоимости энергоресурсов. Существующее коммунальное хозяйство потребляет необоснованно большое количество теплоты. По некоторым экспертным оценкам почти половина всей вырабатываемой теплоты расходуется на отопление зданий и сооружений. При этом теплопотери через окна могут составлять более 50% от общей суммы теплопотерь через ограждающие конструкции зданий.

В настоящее время политика государства в области энергоресурсов вынуждена становиться политикой энергосбережения. Согласно новым нормам [1] значительно повышаются требования к термическим сопротивлениям ограждающих конструкций. В табл. 0.1 приведены минимальные значения термического сопротивления теплопередаче некоторых ограждающих конструкций (стен и окон) для зданий. Из этих данных видно, что существующая нормативная база закрепляет ситуацию, когда потери теплоты через окна значительно (от 5 до 7 раз) превышают теплопотери через наружные стены.

Логичным представляется начать работы, связанные с сокращением потерь энергии на отопление зданий, путем повышения термического сопротивления тех участков ограждающих конструкций, через которые происходят наибольшие потери теплоты. Такими на данный момент являются окна.

В настоящее время во всем мире ведутся широкомасштабные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по совершенствованию конструкций окон с повышенными теплотехническими характеристиками. Индустрия светопрозрачных конструкций развивается чрезвычайно бурно. Внедряются самые последние достижения науки и техники. Так, например, используются эффективные теплоотражающие покрытия, заполнение малотеплопроводными газами, электропрогрев, вентиляция и т.п.

Важным этапом общей проблемы создания энергоэффективных окон является разработка методов расчета их теплотехнических характеристик. Отдельные вопросы передачи теплоты и рекомендации по расчету теплопотерь через окна изложены в работах [2–4]. Но в них нет тщательного анализа физических особенностей отдельных процессов лучистого и конвективного переноса теплоты через окна, их совместного влияния друг на друга и роли отдельных многочис-

ленных параметров. Не дает ответа на эти вопросы и математическое моделирование теплообмена в межстекольном промежутке окна [11, 12].

Таблица 0.1

**Нормативные минимальные значения сопротивления теплопередаче стен и окон для зданий [1]**

Здания и помещения	Градусо-сутки отопительного периода, °С·сут	Приведенное сопротивление теплопередаче $R$ , (м <sup>2</sup> ·К)/Вт		$\frac{R_{стен}}{R_{окон}}$
		стен	окон	
Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	2000	2,1	0,30	7,0
	4000	2,8	0,45	6,22
	6000	3,5	0,60	5,83
	8000	4,2	0,70	6,0
	10000	4,9	0,75	6,53
	12000	5,6	0,80	7,0
Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	2000	1,6	0,30	5,33
	4000	2,4	0,40	6,0
	6000	3,0	0,50	6,0
	8000	3,6	0,60	6,0
	10000	4,2	0,70	6,0
	12000	4,8	0,80	6,0
Производственные с сухим и нормальным режимами	2000	1,4	0,25	5,6
	4000	1,8	0,30	6,0
	6000	2,2	0,35	6,28
	8000	2,6	0,40	6,5
	10000	3,0	0,45	6,67
	12000	3,4	0,50	6,8

В настоящем издании приведены результаты подробного анализа процессов лучистого и конвективного переноса теплоты через окна, как по отдельности, так и при их взаимном воздействии друг на друга. Предложенный метод раздельно-объединенного анализа дает возможность выявить физические особенности каждого из трех указанных процессов. Исследовано влияние многочисленных параметров на теплопередающие характеристики окон и определены возможности снижения теплопотерь через стеклопакеты как за счет увеличения числа стекол и изменения расстояния между ними, так и за счет применения низкоэмиссионных стекол и заполнения межстекольного пространства низкотеплопроводными газами.

Для процесса совместного радиационно-конвективного переноса теплоты через окно определены лучистая и конвективная составляющие теплового потока на каждом из участков – на внешней и

внутренней поверхностях окна, в межстекольном пространстве. Показано, что при переходе от одного участка к другому происходит изменение величин конвективной и лучистой составляющих при неизменной величине суммарного теплового потока. Установлено, что смена места расположения низкоэмиссионного стекла в стеклопакете может вызвать значительное (до 20%) изменение его термического сопротивления.

Использованный метод отдельно-объединенного анализа позволяет обнаружить эффект синергии лучистой и конвективной составляющих, при котором результирующий радиационно-конвективный тепловой поток больше суммы составляющих при отдельном анализе. Величина эффекта синергии определяется согласованностью соотношений между термическими сопротивлениями лучистого и конвективного переноса теплоты на всех участках теплообмена. Этот метод позволяет определить также оптимальное сочетание параметров стеклопакета (в частности, место расположения низкоэмиссионного стекла), когда достигаются минимальные теплопотери через окно и максимальная температура внутреннего стекла, исключающая возможность конденсации водяного пара на нем.

Выполнена оценка воздействия инфильтрационного воздуха на величину тепловых потерь через окна. Определено влияние характеристик оконных блоков с деревянными переплетами на срок окупаемости их замены на стеклопакеты

# 1. ПЕРЕДАЧА ТЕПЛОТЫ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЧЕРЕЗ ОКНО

## 1.1. Одинарное стекло

### Метод анализа

При расчете теплотерь через окна величину теплового потока на отдельных участках радиационно-конвективного переноса теплоты (на внутренней и внешней поверхностях окна, в межстекольном зазоре) принято выражать в виде суммы конвективной и лучистой составляющих. При этом величину каждой из этих составляющих при фиксированном перепаде температуры на отдельном участке  $\Delta t$  вычисляют с использованием коэффициентов конвективного  $\alpha_k$  и лучистого  $\alpha_l$  теплообмена [2, 7]:

$$q_k = \alpha_k \Delta t ; q_l = \alpha_l \Delta t . \quad (1.1)$$

Однако вследствие изменения как самих этих составляющих теплового потока, так и соотношения между ними на различных участках переноса теплоты через окно составить заключение о величине каждой из этих составляющих и о влиянии на них основных параметров процесса достаточно сложно. Кроме того, при этом теряется общее представление о физической природе каждого из процессов конвективного и лучистого переноса теплоты.

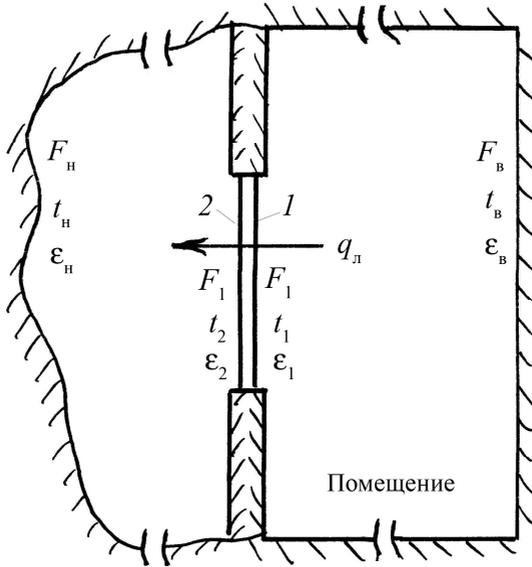
Для того чтобы получить полное представление обо всех отмеченных свойствах сложного совместного радиационно-конвективного переноса теплоты через окно, здесь используется метод раздельно-объединенного анализа этого процесса. При этом вначале (в первом разделе) исследуется только лучистый перенос теплоты через окно. Далее (во втором разделе) рассматривается только конвективная составляющая процесса. Окончательно (в третьем разделе) мера и характер взаимодействия лучистой и конвективной составляющих выясняются при их объединении в совместный процесс радиационно-конвективного переноса теплоты через окно.

Ниже, в первом разделе, рассматривается только лучистый перенос теплоты через окно.

### Постановка задачи

Задача формулируется следующим образом. Помещение, имеющее внутреннюю поверхность площадью  $F_B$ , отделено ограждающей

конструкцией от наружной среды с поверхностью  $F_n$  (рис. 1.1). В ограждающей конструкции выполнен застекленный оконный проем с площадью стекла  $F_1$ . Температура всей поверхности внутри помещения одинакова и равна  $t_b$ . Температура поверхности  $F_n$  окружающей среды также одинакова и равна  $t_n$ , причем  $t_n < t_b$ . Из помещения в окружающую среду через окно передается излучением теплота. Необходимо определить температуру стекла  $t_1$  и плотность лучистого теплового потока  $q_{\text{л}}$  через стекло.



**Рис. 1.1.** Физическая модель передачи теплоты излучением из помещения в окружающую среду через окно: 1 – внутреннее стекло; 2 – внешнее стекло

### Решение задачи

Сначала рассмотрим вариант, когда в окне (см. рис. 1.1) установлено одинарное стекло.

Две излучающие поверхности – поверхность помещения  $F_b$  и поверхность стекла  $F_1$  – образуют замкнутую систему, причем поверхность стекла  $F_1$  плоская, не имеет вогнутостей и не излучает сама на себя. Для такой системы плотность теплового потока, передаваемого излучением от внутренней поверхности помещения к холодному стеклу, определяется выражением [5]

$$q_{в1} = \varepsilon_{1в} C_0 \left[ \left( \frac{T_в}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 \right]. \quad (1.2)$$

Здесь  $T_в$  и  $T_1$  - температура поверхности внутри помещения и температура стекла, выраженные в термодинамической шкале температур (далее температуры  $t$  и  $T$  с соответствующими индексами обозначают температуры соответствующих поверхностей, выраженные в практической ( $t$ , °С) и термодинамической ( $T$ , К) шкалах);  $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Величина  $\varepsilon_{1в}$  – это приведенная степень черноты излучающей системы  $F_в$  и  $F_1$ :

$$\varepsilon_{1в} = \left[ \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_в} \left( \frac{1}{\varepsilon_в} - 1 \right) \right]^{-1}. \quad (1.3)$$

Эта характеристика, помимо значений  $F_1$  и  $F_в$ , зависит от степени черноты  $\varepsilon_1$  стекла и степени черноты  $\varepsilon_в$  поверхности помещения. Учитывая тот факт, что в подавляющем большинстве практических задач внутренняя поверхность помещения  $F_в$  значительно больше поверхности стекла  $F_1$ , получаем  $F_1/F_в \rightarrow 0$ . В итоге для всех этих случаев выражение (1.3) существенно упрощается

$$\varepsilon_{1в} = \varepsilon_1, \quad (1.4)$$

и приведенная степень черноты излучающей системы определяется только величиной степени черноты стекла  $\varepsilon_1$ .

От поверхности стекла  $F_1$  лучистый тепловой поток рассеивается в окружающую среду. Две излучающие поверхности (поверхность стекла  $F_1$  и поверхность окружающей среды  $F_н$ ) образуют замкнутую систему, причем поверхность стекла не имеет вогнутостей. Для такой излучающей системы плотность теплового потока, передаваемого от поверхности стекла  $F_1$  в окружающую среду, определяется соотношением

$$q_{1н} = \varepsilon_{1н} C_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_н}{100} \right)^4 \right]. \quad (1.5)$$

Здесь  $\varepsilon_{1н}$  – приведенная степень черноты замкнутой системы  $F_1$  и  $F_н$ :

$$\varepsilon_{1H} = \left[ \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_H} \left( \frac{1}{\varepsilon_H} - 1 \right) \right]^{-1}. \quad (1.6)$$

Поскольку поверхность  $F_H$  окружающей среды бесконечно велика по сравнению с поверхностью стекла  $F_1$  ( $F_1/F_H \rightarrow 0$ ), то приведенная степень черноты этой системы равна степени черноты стекла

$$\varepsilon_{1H} = \varepsilon_1. \quad (1.7)$$

В итоге получаем, что для обеих замкнутых излучающих систем приведенные степени черноты одинаковы  $\varepsilon_{1B} = \varepsilon_{1H} = \varepsilon_1$ .

В установившемся процессе плотность теплового потока  $q_{B1}$ , воспринимаемого поверхностью стекла от поверхности помещения, равна плотности теплового потока  $q_{1H}$ , рассеиваемого стеклом в окружающую среду:

$$q_{B1} = q_{1H} = q_L. \quad (1.8)$$

Соотношения (1.2), (1.5) и (1.8) составляют систему из трех уравнений для определения трех неизвестных  $q_{B1}$ ,  $q_{1H}$ ,  $T_1$ . Приравняв (1.2) и (1.5) и учитывая  $\varepsilon_{1B} = \varepsilon_{1H} = \varepsilon_1$ , получаем соотношение

$$\left[ \left( \frac{T_B}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 \right] = \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_H}{100} \right)^4 \right]. \quad (1.9)$$

Отсюда сначала находим неизвестную температуру  $T_1$  стекла

$$\left( \frac{T_1}{100} \right)^4 = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{T_B}{100} \right)^4 + \left( \frac{T_H}{100} \right)^4 \right]. \quad (1.10)$$

Подставляя это значение  $\left( \frac{T_1}{100} \right)^4$  в любое из выражений (1.2) или (1.5), получаем выражение для расчета величины лучистого теплового потока  $q_L$ , передаваемого из помещения в окружающую среду через оконный проем с одинарным стеклом:

$$q_L = \frac{1}{2} \varepsilon_1 C_0 \left[ \left( \frac{T_B}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_H}{100} \right)^4 \right]. \quad (1.11)$$

В качестве примечания следует отметить, что обычно [2, 6] лучистый тепловой поток между поверхностью стекла и окружающей средой (помещение или внешняя среда) рекомендуют рассчитывать по соотношению для лучистого теплообмена между двумя бесконечными параллельными поверхностями. Например, для системы внешняя поверхность стекла  $F_1$  – окружающая среда  $F_H$  это будет соотношение

$$q_{1H} = \varepsilon_{\text{пр}} C_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_H}{100} \right)^4 \right], \quad (1.12)$$

в котором приведенная степень черноты рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \left( \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_H} - 1 \right)^{-1}. \quad (1.13)$$

Сравнивая соотношения (1.5) и (1.12), видим, что они внешне одинаковы, но входящие в них величины  $\varepsilon_{1H}$  и  $\varepsilon_{\text{пр}}$  рассчитываются по несколько отличающимся выражениям (1.6)–(1.7) и (1.13) соответственно. При этом выражение (1.13) является частным случаем соотношения (1.6) при  $F_1/F_H = 1$ .

Аналогичное заключение справедливо и для системы «внутренняя поверхность стекла  $F_1$  – поверхность помещения  $F_B$ ». Более строгим будет использование соотношений (1.2)–(1.4) и (1.5)–(1.7).

### Анализ результатов

1. Как следует из выражения (1.11), плотность лучистого теплового потока, передаваемого из помещения в окружающую среду через одинарное стекло, зависит только от температуры  $T_B$  поверхности помещения, температуры окружающей среды  $T_H$  и степени черноты стекла  $\varepsilon_1$ .

2. Для обычного оконного стекла степень черноты для низкотемпературного теплового излучения достаточно велика  $\varepsilon_1 = 0,91$ – $0,94$  и близка к 1 [7]. Для такого теплового излучения стекло является практически черным телом, т.е. оно поглощает всё падающее на него тепловое излучение. Это коренным образом отличается от поведения стекла по отношению к видимому свету, который стекло про-

пускает почти полностью. Так, например, оконное стекло толщиной 4,5 мм пропускает 0,96 падающего видимого света и поглощает только 0,04 его [7].

В качестве примера на рис. 1.2 приведены экспериментальные данные для оконных стекол. Из этих данных следует, что прозрачное для видимого света обычное оконное стекло толщиной 2 мм становится непрозрачным и черным для теплового излучения с длиной волны больше 5 мкм. Именно в этом длинноволновом диапазоне расположена основная часть спектра низкотемпературного теплового излучения черных тел, имеющих температуру ниже 40 °С (рис. 1.3).

3. Размещение в оконном проеме одинарного стекла позволяет примерно вдвое уменьшить тепловой лучистый поток за счет его переизлучения стеклом по сравнению с оконным проемом без стекла (коэффициент  $1/2$  в правой части выражения (1.11)). Даже одинарное стекло создает значительный экранирующий эффект.

### **Способы снижения лучистых теплопотерь через стекло**

Экранирующий эффект стекла можно значительно увеличить, а проходящий через стекло лучистый тепловой поток соответственно снизить за счет применения стекол со специальным покрытием. Такие стекла называют *селективными*, или *низкоэмиссионными*. Теплоизолирующая способность селективного стекла много лучше, чем у обычного. Солнечное коротковолновое излучение хорошо проникает через такое стекло и нагревает поверхности внутри помещения, которые, в свою очередь, излучают длинноволновое тепловое излучение, эффективно отражающееся от поверхности селективного стекла обратно.

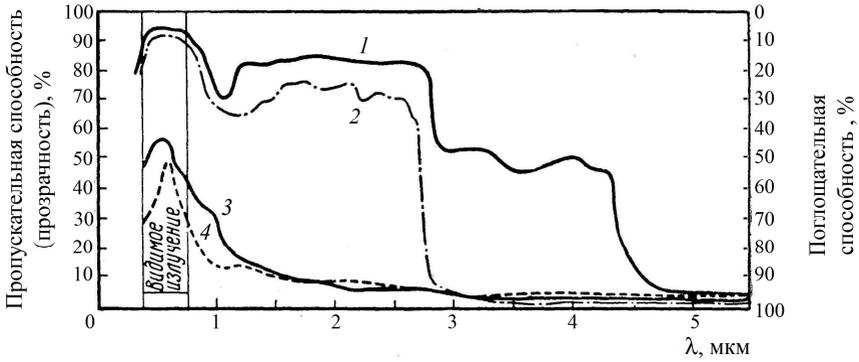
В настоящее время применяют два типа покрытий, различающихся по технологии нанесения [4].

1. **«Твердое покрытие»** на основе оксида олова  $\text{SnO}_2$ , называемое иначе «полупроводниковым покрытием».

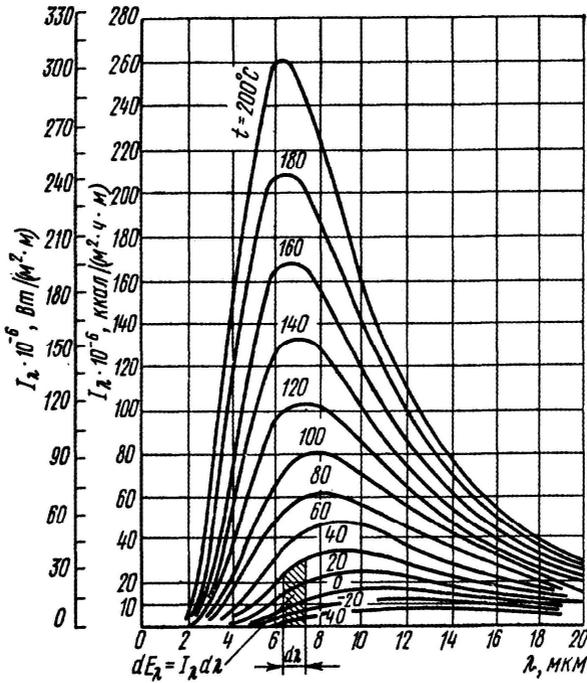
Наносится непосредственно на одной из стадий производства флоат-стекла (так называемая технология on-line – англ. «на линии») за счет химической реакции пиролиза (разложения вещества под действием высоких температур). Во время этой реакции слой оксида олова толщиной порядка 400–600 нм оседает на поверхность горячего стекла, становясь неотделимой его частью.

При этом образуется крепкое и прочное металлическое покрытие, обладающее химической, механической и термической стойкостью, равноценной стеклу без покрытия. Твердые покрытия устой-

чивы к воздействию погодных условий и выдерживают воздействия температур до 620 °С.



**Рис. 1.2.** Спектральные пропускательная и поглощательная способности различных сортов стекла [8]: 1 – оконное стекло толщиной 2 мм; 2 – оконное стекло толщиной 5,4 мм; 3 – Au-стекло; 4 – Cu-стекло



**Рис. 1.3.** Спектральная плотность излучения поверхности абсолютно черного тела как функция длины волны излучения при различных температурах черного тела [7]

## 2. «Мягкое покрытие» на основе серебра Ag.

Наносится на готовое флоат-стекло (технология off-line – англ. «вне линии») и удерживается на нем силами молекулярного взаимодействия. Состоит из нескольких тонких слоев, выбор которых зависит от требуемых характеристик остекления – излучательной способности, светопропускания, а также оптических свойств – удаления нежелательного отражения. Толщина слоя серебра от 10 до 50 нм.

В отличие от «твердых» покрытий «мягкие» ограничено устойчивы по отношению к погодным и температурным воздействиям. Однако при установке в стеклопакете – покрытием в сторону воздушной камеры они имеют долговечность, сопоставимую с «твердыми» покрытиями.

В зависимости от типа покрытия поглощательная (излучательная) способность в диапазоне длин волн низкотемпературного теплового излучения составляет  $\varepsilon = 0,16–0,20$  для стекол с твердым покрытием и  $\varepsilon = 0,04–0,12$  для стекол с мягким покрытием. Внешний вид таких стекол практически не отличается от обычных.

Пусть вместо обычного стекла с излучательной способностью  $\varepsilon_1 = 0,94$  в окно установлено низкоэмиссионное стекло с пониженной излучательно-поглощательной способностью  $\varepsilon_1^* = 0,2$ . Согласно выражению (1.11) плотность лучистого теплового потока через стекло пропорциональна величине  $\varepsilon_1$ . Поэтому при замене обычного стекла ( $\varepsilon_1 = 0,94$ ) на низкоэмиссионное ( $\varepsilon_1^* = 0,2$ ) происходит существенное сокращение тепловых потерь через окно, пропорциональное отношению  $\varepsilon_1 / \varepsilon_1^*$ . В данном варианте лучистые тепловые потери  $q_{л} / q_{л}^* = \varepsilon_1 / \varepsilon_1^* = 0,94 / 0,2 = 4,7$  сокращаются в 4,7 раза.

## 1.2. Двойное стекло

### Постановка и решение задачи

В оконном проеме установлены два стекла (см. рис. 1.1). Степени черноты внутреннего и внешнего стекол равны соответственно  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ . Далее нижние индексы 1 и 2 относятся к параметрам внутреннего и внешнего стекол.

Поверхность помещения  $F_{в}$  и внутреннее стекло площадью  $F_1$  образуют замкнутую излучающую систему. Плотность теплового потока, передаваемого излучением через внутреннее стекло, рассчи-

Учебное пособие

Виталий Александрович **Майоров**

# ПЕРЕДАЧА ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ ОКНА

Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*  
Компьютерная верстка: *Д.А. Матвеев*  
Дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Подписано к печати 02.12.13.  
Формат 60x90/16. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Бумага офсетная.  
Усл. 7,5 п. л. Заказ №

ООО «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26,  
отдел реализации к. 511, тел., факс: (499)183-56-83;  
e-mail: [iasv@mgsu.ru](mailto:iasv@mgsu.ru), <http://www.iasv.ru/>