

**Печковский В. М., студент,**

**Ляховская Д. В., студент**

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: к. т. н., доцент Комаровская В. М.*

Аннотация.

В данной статье проведен сравнительный анализ видов селективных покрытий на строительное стекло, а также методов их получения. Рассмотрены существующие продукты стекольной промышленности с тонкоплёночным покрытием и их характеристики.

Строительное стекло – изделие, применяемое для остекления световых проёмов. Состав стекла у подавляющего числа производителей схожий: 70–80 %  $\text{SiO}_2$  (диоксида кремния), 10–15 %  $\text{CaO}$  (оксида кальция), и приблизительно 15 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (карбоната натрия) [1]. Соответственно и свойства обычного стекла без покрытий схожи: сопротивление теплопередаче в составе однокамерного стеклопакета (СПО) с осушенным воздухом  $R_o = 0,35 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ ; светопропускание – обычно не превышает 93 %; прочность при ударном изгибе – в среднем 0,2 МПа; коэффициент преломления света 1,46–1,53.

Исходя из спроса потребителей и их требований к остеклению современных зданий рассмотренные выше свойства не обеспечивают достаточную энергоэффективность. Поэтому производители вынуждены подстраиваться под конъюнктуру и использовать различные современные технологии нанесения покрытий, за счет которых эксплуатационные характеристики стекла, такие как энергоэффективность, безопасность, солнцезащита и внешняя привлекательность улучшаются.

Для производства современных стеклопакетов уже давно не применяется обычное листовое стекло с характерным зеленым оттенком, а предпочтение отдается просветленному стеклу, у которого поперечный срез абсолютно прозрачный. Именно на базе просветленного стекла изготавливают стекла с различными покрытиями, в том числе и вакуумными.

Ниже рассмотрим виды покрытий на стекло и их технические характеристики.

Селективное стекло, так называемое энергоэффективное – это стекло с селективным покрытием, которое отражает тепловое излучение, благодаря чему тепловые волны, излучаемые обогревателями, отражаются от окна и остаются в помещении, и наоборот отражает тепловое излучение, поступающее извне, когда в этом есть необходимость. Осажденные на поверхность тончайшие слои металлов и их соединений в виде оксидов и не только (рис. 1) практически не влияют на светопропускную способность и не изменяют оттенок стекла, так что это влияние можно свести к нулю, что является несомненно преимуществом данного вида покрытия. Благодаря тому, что данное стекло имеет хорошую теплоизоляционную способность это способствует не только экономии энергии, но и уменьшает внутреннюю конденсацию в стеклопакете. Если цель данного стекла сохранить тепло в помещении, то его ставят так, чтобы сторона с покрытием была обращена внутрь здания. Если же цель отразить солнечное излучение, то ставят так, чтобы сторона с покрытием смотрела наружу.

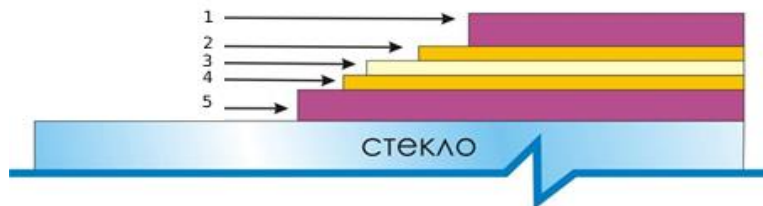


Рис. 1. Структура селективного стекла

1 – верхний слой; 2, 4 – защитный слой; 3 – функциональный; 5 – нижний слой

Современные производители могут предложить стекла с селективными покрытиями двух типов – твердое  $k$  из тонкого слоя окиси металлов и мягкое  $i$  из оксидов металлов.

$K$ -покрытие наносят методом пиролиза на горячее стекло в ходе процесса его производства после чего его отжигают. Достоинством стекла с  $k$ -покрытием является более высокая твердость, чем у обычного стекла. В роли отражателя тепла в данном случае выступает слой окислов цветных металлов – олова или индия. Коэффициент эмиссии ( $\epsilon$ ) у стекла с  $k$ -покрытием составляет не более 0,2. Стекла с

к-покрытием по сравнению со стеклом без покрытия обладают более высокими теплоизоляционными свойствами ( $R_o = 0,58 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ ), также данное покрытие довольно твердое, долговечное и в дальнейшем может подвергаться обработке (моллирование, ламинирование и закалка). Отдельно следует отметить сравнительно низкую склонность к образованию конденсата внутри стеклопакета при использовании таких покрытий.

Мягкое (i-стекло) часто называют магнетронным из-за способа, которым его получают. Особенность i-стекла в более равномерном по толщине и тонком чем у k-стекла покрытии, что в свою очередь позволяет добиться высоких теплоизоляционных свойств по всей поверхности стекла. I-покрытие – это два или более слоев оксида титана, разделенных тонкой пленкой серебра. Данное покрытие мягкое и нестойко к механическому воздействию, поэтому стекло с таким покрытием должно быть обращено селективной поверхностью внутрь стеклопакета. Энергоэффективность таких стекол лучшая из всех ныне существующих: теплотери через стеклопакет сокращаются приблизительно на 90 % (рис. 2). Приведём пример: комнатная температура  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ , а температура снаружи минус  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ , тогда температура поверхности:

- 1) обычного стеклопакета:  $+5,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- 2) стеклопакета с K-стеклом:  $+10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- 3) стеклопакета с I-стеклом:  $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

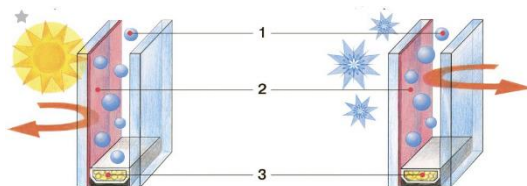


Рис. 2. Отражение теплового излучения от селективного покрытия:  
1 – аргон; 2 – низкоэмиссионное покрытие; 3 – дистанционная рамка

Таким образом, проанализировав и сравнив технические характеристики стекол с селективным покрытием: i-стекло и k-стекло можно сделать вывод, что более перспективными для развития являются i-стекла, обладающие самой большой энергоэффективностью и отно-

сительно высокой светопрозрачностью. Также сам технологический процесс магнетронного напыления позволяет, меняя технологические параметры, наносимые материалы и реакционные газы получать более широкий спектр свойств селективных покрытий.

### **Список использованных источников**

1. Павлюкевич, Ю. Г. Технология и оборудование производства стеклянных изделий / Ю. Г. Павлюкевич, Л. Ф. Папко. – Минск : БГТУ, 2015. – С. 43–68.

УДК 633.521

### **Магнетронное распыление**

**Погадаев В. А., студент**

*Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: к. т. н., доцент Комаровская В. М.*

Аннотация.

В данной статье автор описывает общие сведения о магнетронном распылении, проблемы и пути их решения.

Магнетронное распыление – это широко используемый метод физического осаждения из паровой фазы для осаждения тонких пленок. При реализации данного метода материал мишени бомбардируется высокоэнергетическими ионами газа, в результате чего атомы распыляются с поверхности мишени и оседают на подложке, образуя тонкую пленку.

Одной из основных проблем данной технологии формирования покрытия является низкий коэффициент распыления мишени (порядка 20–40 %). В последние годы большинство работ, как теоретических, так и экспериментальных направлены на изучение возможных путей повышения коэффициента распыления, в том числе за счет повышения поверхностной эрозии мишени. Это можно обеспечить за счет специальной конструкции магнетронной распылительной системы, в которой силовые линии магнитного поля охватывают