

*Л.Л. БРАГИНА*, докт. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;  
*С.Н. ЯИЦКИЙ*, асп. НТУ «ХПИ»;  
*В.В. МАШКИН*, студент НТУ «ХПИ»

## **АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ СТЕКЛА С НИЗКОЭМИССИОННЫМИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМИ ПОКРЫТИЯМИ**

Рассмотрено применение светотеплозащитных стекол как эффективного способа теплоэнергосбережения в архитектурно-строительной сфере. Приведены результаты сравнительного анализа свойств и технологий низкоэмиссионных стекол К-стекла (Low-E) с «твердым» и Е-стекло (Double Low-E) с «мягким» покрытиями, а также особенности производства Е-стекла (Double Low-E) на ЗАО «ЛСЗ «Пролетарий».

**Ключевые слова:** Энергоэффективные стекла, низкоэмиссионные покрытия, Е-стекло, К-стекло, флоат-стекло, магнетронное напыление.

**Введение.** В последние годы значительное увеличение стоимости энергоресурсов обострило проблему теплосбережения. Эффективные способы решения этой проблемы в архитектурно-строительной сфере предусматривают снижение потерь тепла через оконные проемы, составляющих 20 – 25 % от общих теплопотерь, что позволит повысить температуру в помещениях и значительно уменьшит затраты на отопление.

Эти способы включают применение многослойных стеклопакетов, обеспечение герметичности последних для уменьшения конвективной составляющей теплопередачи и применение энергосберегающих и светозащитных стёкол с целью значительного снижения доли инфракрасного излучения, достигающей 70 % в общем балансе потерь тепла через систему освещения [1]. Последний способ признан наиболее эффективным. Светотеплозащитное стекло, изменяя спектральный состав проходящего через него света, создает более комфортное по сравнению с бесцветным стеклом освещение, обеспечивая высокую четкость восприятия предметов и не вызывая зрительного утомления. Такое стекло в значительной мере сокращает теплоступление внутрь зданий и защищает от разрушительного воздействия ультрафиолетовых лучей [2].

© Л.Л. Брагина, С.Н. Яицкий, В.В. Машкин. 2014

Светотеплозащитные стекла широко применяются для остекления зданий, где существует проблема снижения яркости освещения, есть необходимость одностороннего просмотра в дневное время, помещений, где предъявляют особые требования к параметрам внутренней среды, для фасадной и внутренней отделки административных, общественных и жилых зданий, а также для остекления транспортных средств, мебели и др. [3].

Известны два вида таких стекол: 1 – окрашенные в массе оксидами металлов в бронзовый, серый, голубой, зеленый, лазурный и другие цвета; указанные компоненты обеспечивают поглощение солнечной тепловой радиации и снижение пропускания в видимой области спектра, за счет чего достигается требуемый эффект [4]; 2 – со специальными светотеплозащитными покрытиями, которые обеспечивают аналогичный эффект [5].

Недостатком светотеплозащитных стёкол, окрашенных в массе, является очень высокая стоимость, обусловленная использованием весьма дорогостоящих и дефицитных, особенно в Украине, красящих компонентов. Это ограничивает их применение в архитектурно-строительной сфере и определяет возрастающий объем производства стекол со специальными покрытиями.

Целью данной работы явился сравнительный анализ технологий и свойств различных типов светотеплозащитных стекол с покрытиями и рассмотрение технологических особенностей производства на ЗАО «ЛСЗ «Пролетарий» низкоэмиссионных стёкол типа Low-E с инновационными покрытиями, наносимыми магнетронным напылением.

**Особенности теплообмена в помещении.** Теплообмен в помещении происходит, в первую очередь, с более холодными предметами – стенами и окнами. Чем ниже их температура, тем быстрее может произойти переохлаждение. Кроме того, в воздухе всегда содержится определенное количество влаги. Наиболее благоприятной для человека является относительная влажность воздуха, равна 55 %. При более высокой влажности наступает ощущение дискомфорта. Слишком сухой воздух приводит к пересыханию слизистой оболочки горла и носа [6].

Из данных, приведенных на рис. 1, где указана также температура теплового комфорта, видно, что с повышением сопротивления теплопе-

редаче стеклопакета температура на внутренней поверхности остекления возрастает [7].

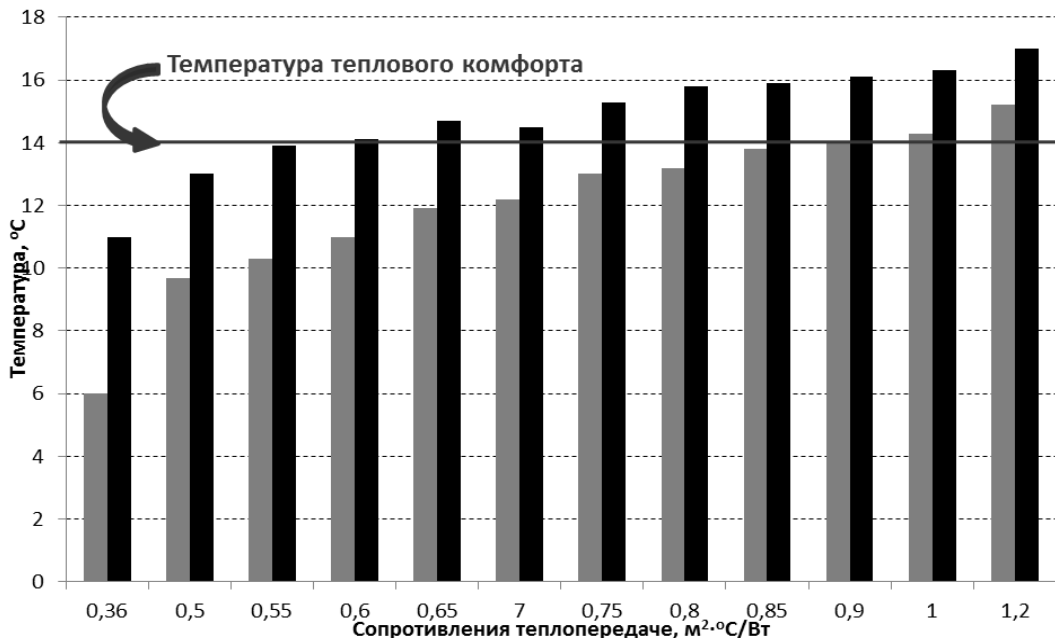


Рис. 1. Зависимость температуры в помещении от сопротивления теплопередаче стеклопакетов: ■ – температура снаружи – 20 °С; ■ – температура снаружи – 5 °С

На рис. 2 изображена зависимость относительной влажности в помещении от сопротивления теплопередаче окна и наиболее комфортная влажность в помещении.

Как следует из приведенных на обоих рисунках данных, температура теплового комфорта и наиболее комфортная влажность в помещении достигается при сопротивлении теплопередаче стекла, равном 0,55 м²·°C/Вт.

Как отмечалось выше, наиболее существенное снижение теплопотерь достигается в случае использования светотеплозащитных низкоэмиссионных стекол. Под их эмиссией, или излучательной способностью, подразумевают способность стеклянной поверхности излучать невидимые инфракрасные лучи определенной длины.

Таким образом, эмиссия поверхности определяет потери теплоты излучением.

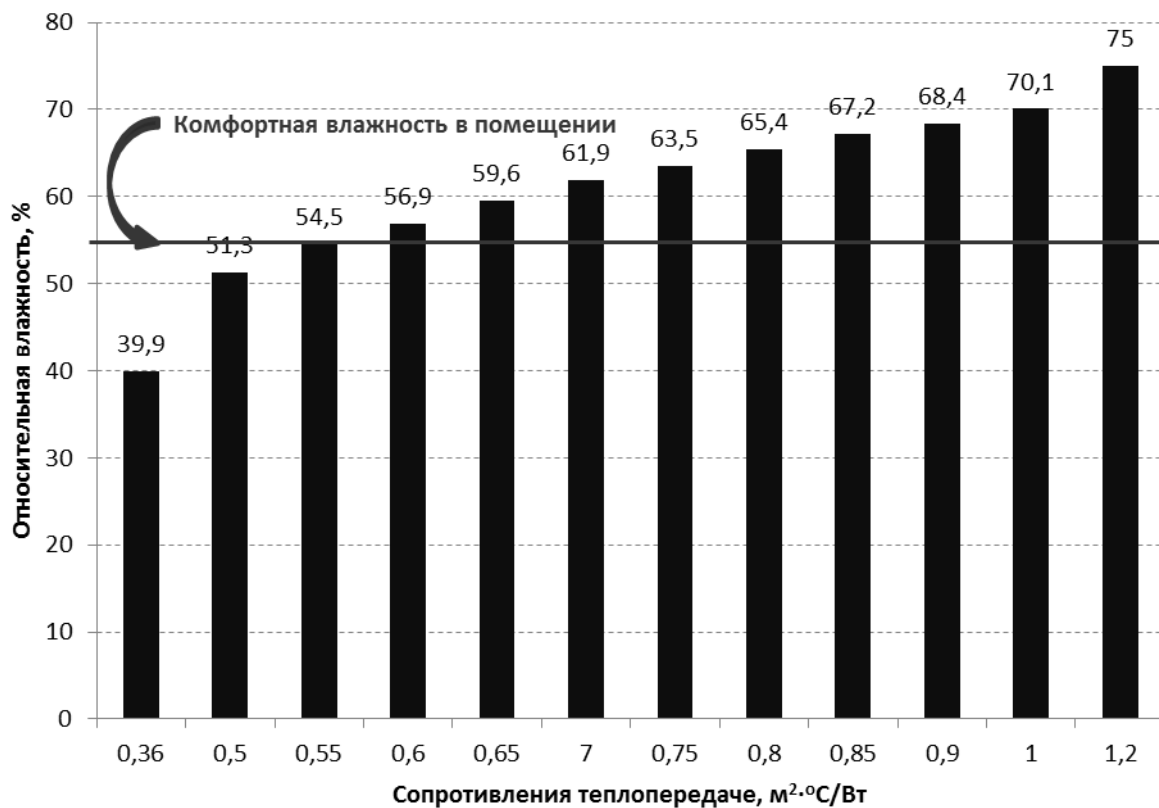


Рис.2. Зависимость относительной влажности в помещении от сопротивления теплопередаче стеклопакетов

Коэффициент эмиссии  $E$ , который равен отношению мощности излучения поверхности стекла к мощности излучения абсолютно черного тела, для обычных стекол составляет 0,83; для низкоэмиссионных он может составлять всего лишь 0,04.

Таким образом, чем меньше коэффициент эмиссии стекла, тем выше его теплосберегающие свойства.

Среди низкоэмиссионных стекол следует выделить закаленные безопасные стекла, используемые преимущественно в многоэтажных офисах и других общественных зданиях для обеспечения норм безопасности [8].

Благодаря достижениям в области составов и технологии нанесения низкоэмиссионных покрытий энергосберегающие стекла становятся все более востребованными, так как они более чем на 50 % снижают теплотери по отношению к обычному стеклу. Использование низкоэмиссионных стекол помогает сохранить энергетическую эффективность оконных конструкций, что при строительстве офисных зданий обуслов-

ливаает тенденцию к использованию крупногабаритных стекол, которые обеспечивают лучшие свойства среды при естественном освещении.

С точки зрения экономии энергии системы двойного остекления с такими стеклами более рентабельны по сравнению с традиционными окнами из-за меньшего веса и упрощенной конструкции. С последней четверти прошлого столетия такие стекла получили широкое распространение в Европе. Особенно интенсивное применение стекол с низкоэмиссионными покрытиями началось в 1995 году в Германии в связи с принятием здесь новых норм теплоизоляции, основанных на положениях энергетического баланса, которые учитывают тепло, поступающее через окно. Сегодня использование низкоэмиссионных стекол стало стандартом в большинстве европейских стран и на других континентах и получает все большее признание в Украине.

**Сравнительная характеристика низкоэмиссионных стекол и технологий их получения.** В настоящее время применяют два типа низкоэмиссионных стекол: так называемое К-стекло (Low-E) с «твердым» покрытием и Е-стекло (Double Low-E) с «мягким» покрытием. Различия между Е-стеклом и К-стеклом заключаются в технологии производства, значениях коэффициента излучательной способности и твердости [9].

*Е-стекло (Double Low-E) с «мягким» покрытием.* «Мягкое» покрытие в основном наносят методом вакуумного магнетронного напыления. При этом способе лист стекла с предварительно подготовленной поверхностью помещают в вакуумную камеру, оснащенную специальным катодом с системой подачи на него отрицательного потенциала. Вакуумная среда способствует «поджиганию» плазмы. Позитивно заряженные ионы газа плазмы притягиваются к отрицательно заряженной мишени, которая является источником металлического покрытия. Позитивные заряды, ударяясь в мишень, выбивают атомы, которые осаждаются на поверхности стекла и таким образом формируют покрытие.

Вакуумная установка для нанесения на стекло покрытия типа Low-E состоит из шести магнетронов, попарно размещенных в трех последовательно соединенных рабочих камерах. На входе и на выходе установки оснащены шлюзовыми системами, которые дают возможность поддерживать высокие значения вакуума в рабочем объеме установки. В целом линия представляет собой конвейер, по которому одновременно движет-

ся до шести поддонов со стеклом. Общая длина вакуумной установки составляет примерно 42 м. Максимальные размеры стекла – порядка  $1,6 \times 2,5 \text{ м}^2$ . Контролируют толщину и качество покрытия быстродействующими спектрофотометрами. Изменение толщины покрытия регулируется путем изменения скорости движения стекла во всех рабочих камерах установки. Ниже на рис. 3 представлена вакуумная установка для магнетронного нанесения покрытия [10].

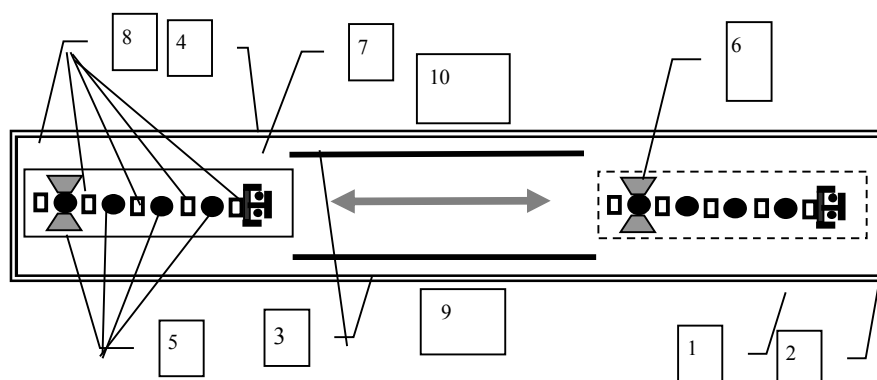


Рис. 3. Вакуумная установка для магнетронного нанесения покрытия: 1 – вакуумная камера, 2 – дверь, 3 – стекла, 4 – каретка, 5 – МРС, 6 – потоки распыленных атомов, 7 – ионный источник, 8 – аноды, 9 – источник света, 10 – оптическая система регистрации

В ряде технологий для увеличения до 50 % эффекта теплоизоляции за мишенью устанавливают магнитную систему, образующую магнитное поле, которая захватывает вторичные электроны с поверхности катода.

Стекло с «мягким» покрытием имеет высокое качество, но характеризуется ограниченным сроком хранения: оно требует аккуратного и тщательного обращения при изготовлении стеклопакетов.

***K-стекло (Low-E) с «твердым» покрытием.*** «Твердое» покрытие в основном наносят на поверхность стекла методом пиролиза.

Пиролиз – это технологический процесс, который заключается в том, что на горячую ( $500\text{--}590 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ленту листового стекла во флоат-ванне или в первой зоне печи отжига непрерывно наносится вещество, которое при контакте со стеклом под действием температуры разлагается и в виде оксидов  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ , и т.д., соединяется с поверхностью стекла.

Недостатком данного процесса является то, что при пиролизе, кроме указанных оксидов, образуются также другие соединения, которые достаточно тяжело удалить. Имеются и другие трудности, связанные с необходимостью удаления образовавшегося покрытия, не равномерного по ширине ленты.

«Твердое» покрытие, полученное по способу пиролиза, является стойким по отношению к механическому и атмосферному воздействиям. Стекло с таким покрытием можно закалять, моллировать, использовать при изготовлении многослойных систем остекления.

В Украине линия по выпуску энергосберегающего Е-стекла (Double Low-E) с «мягким» покрытием впервые введена в эксплуатацию в ноябре 2008 года на ЗАО «ЛСЗ «Пролетарий» [11]. Это единственное отечественное предприятие, на котором флоат-способом производится полированное стекло толщиной 2–19 мм. Здесь же осуществляется промпереработка стекол с получением зеркал и других видов стеклоизделий и выпуск закаленных стекол.

На ЗАО «ЛСЗ «Пролетарий» производят низкоэмиссионное энергосберегающее листовое стекло «Комфорт Плюс» с многослойным покрытием, в котором пленка металлического серебра, обеспечивающая эффект энергосбережения, размещается между слоями оксидов металлов и нитрида кремния, а также солнцезащитное листовое стекло с покрытием из оксидов металлов и нитрида кремния, придающих ему солнцезащитные свойства и цвет. Послойная структура такого покрытия представлена на рис. 4.

Производство этого стекла с мягким покрытием включает следующие стадии технологического процесса:

- отбор листов стекла;
- укладка листов на горизонтальный рольганг подачи стекла;
- мойка и сушка листов;
- нанесение многослойных покрытий;
- контроль качества готовых изделий; нанесение перекладочных материалов;
- выгрузка и упаковка продукции;
- транспортировка на склад готовой продукции.



Рис. 4. Структура мягкого покрытия Е-стекла (Double Low-E):

1 – предварительно подготовленное стекло; 2 – диоксид олова SnO<sub>2</sub> в качестве базового слоя; 3 – серебро Ag как слой, отражающий инфракрасное излучение; 4 – NiCr<sub>x</sub>O<sub>y</sub> как защищающий серебро слой; 5 – диоксид олова SnO<sub>2</sub> как покровный слой; 6 – нитрид кремния Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> в качестве механически стабильного защищающего слоя

Годовая производительность линии – 4054000 м<sup>2</sup> стекла с мягким покрытием, причем в ассортименте продукции 80 % энергосберегающее стекло составляет 80 %, солнцезащитное стекло – 20 %.

Энергосберегающие и солнцезащитные стекла с мягким покрытием, выпускаемые на ЗАО «ЛСЗ «Пролетарий» и получившие широкое применение при остеклении в пакетном варианте светопрозрачных конструкций зданий, сооружений, интерьеров, фасадного остекления и при производстве других изделий технического и бытового назначения, успешно конкурируют с аналогичной зарубежной продукцией.

#### **Выводы.**

Разработка и применение низкоэмиссионных светотеплосберегающих стекол является одним из актуальнейших направлений в стекольной промышленности. Сравнительный анализ свойств и технологий получения различных типов указанных стекол показал, что более простое производство имеет место в случае К-стекла (Low-E) с более прочным «твердым» покрытием, наносимым способом пиролиза, тогда как Е-стекло (Double Low-E) с многослойным «мягким» покрытием, наносимым по сложной технологии магнетронного вакуумного напыления, выпускаемое на крупнейшем



отечественном предприятии ЗАО «ЛСЗ «Пролетарий», характеризуется более высокой энергоэффективностью и широким диапазоном цветовых характеристик.

**Список литературы:** 1. Сравнение свойств низкоэмиссионных k-стеклол и i-стеклол // интернет-ресурс <http://zmk.name/vsyo-o-stekle/sravnienie-svoystv-nizko-missionnykh-k-steklol-i-i-steklol>. 2. Кондрашов В.И. Совершенствование нормативно-технической документации на светотеплозащитное стекло / В.И. Кондрашов, Ю.В. Зверев, В.Н. Прохода // Стекло и Бизнес – 1999. – № 3. – С.34. 3. Гуляян Ю.А. Технология стекла и стеклоизделий: – Владимир: «Транзит-Икс», 2003. – С. 217 – 221. 4. Гуляян Ю.А. Физико-химические основы технологии стекла. – Владимир: «Транзит-Икс», 2008 г. – С. 559–562. 5. *Shelby J. E.* Introduction to Glass Science and Technology. Second Edition.- Cambridge: The Royal Society of Chemistry. 2005. – 308 p. 6. Виткала Дж. Закалка низкоэмиссионного стекла. Новейшие результаты / Дж. Виткала, О. Тамгласс // Стекло и Бизнес – 2000. – № 3. – С. 7–9. 7. Казимиров Н. Н. Требования к теплозащите наружных ограждений // Стекло и Бизнес – 1999. – № 3. – С. 22. 8. Шиповская Н. Ф. Низкоэмиссионное стекло // интернет-ресурс [http://www.wikipro.ru/index.php/Низкоэмиссионное\\_стекло](http://www.wikipro.ru/index.php/Низкоэмиссионное_стекло). 9. Теплосберегающие низкоэмиссионные стекла // Светопрозрачные конструкции – 2003. – № 6. – С. 30. 10. Яцишин Й.М. Технологія скла у трьох частинах. Ч. III. // Й.М Яцишин, Я.І. Вахула,,Т.Б. Жеплинський., О.І. Козій О.Й Ч. III. Підручник – Львів: Видавництво «Растр-7», 2011. – С. 111 – 115. 11. Шепитько О., Анастасов А. «Пролетарию» - 100 лет. – Донецк: Изд. «Шепитько и К<sup>О</sup>», – 2013. – С. 156-159.

*Надійшла до редколегії 12.04.14*

**Архитектурно-строительные стекла с низкоэмиссионными энергосберегающими покрытиями / Брагина Л.Л., Яицкий С.М., Машкин В.В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 16 (1059). – С. 165 – 173. Бібліогр.: 11 назв.**

Розглянуто застосування світлотеплозахисних стекол як ефективного засобу теплоенергозбереження в архітектурно-будівельній сфері. Наведені результати порівняльного аналізу властивостей та технологій низькоемісійних стекол К-скло (Low-E) з «твердим» і Є-скло (Double Low-E) з «м'яким» покриттями, а також особливості виробництва Е-скла (Double Low-E) на ЗАТ «ЛСЗ «Пролетарий».

**Ключові слова:** Енергоефективні стекла, низькоемісійні покриття, Є-скло, К-скло, флоат-скло, магнетронне напилення.

The application of the light- and heat-protective glasses as an effective mean for saving of energy in architecture field is discussed. The results of comparative analysis of the properties and technologies of low-emission K-glass (Low-E) with “hard” coating and E-glass (Double Low-E) with a “soft” coating, and also features of E-glass (Double Low-E) manufacture on CJSC “LSZ Proletary” are presented.

**Keywords:** Energy-efficient glass, low emissivity coating, E-glass, K-glass, float glass, magnetron sputtering.