

*Д. В. Давыдова**

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ «УМНОЕ СТЕКЛО» НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОХРОМНЫХ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОВЫШАЮЩИХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Окна обычно являются наиболее уязвимой частью здания с точки зрения потерь тепловой энергии. Так, потери тепла через оконные конструкции достигают 25% от общей потери тепла. Теплоизоляция светопрозрачных конструкций может быть улучшена путем увеличения количества стекол и камер стеклопакета, но это приводит к удорожанию конструкции и снижению коэффициента светопропускания.

Альтернативой является использование низкоэмиссионного стекла, которое по светопропусканию аналогично обычному, но отражает тепловое излучение обратно в помещение. Не следует также забывать о том, что в летний период стекло должно отражать избыток внешней тепловой энергии, обеспечивая эффективное кондиционирование.

Развитие технологии производства стекла привело к появлению нового термина – «Умное стекло» (Smart Glass, Smartglass), называемого также «переключаемым» стеклом. «Умное стекло» относится к группе светопрозрачных изделий, способных изменять свои свойства под воздействием электрического тока.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента И. А. Дьякова.

Различают три принципиальные технологии смарт-стекла:

- полимерные рассеянные жидкокристаллические частицы (PDLC, Polymer Dispersed Liquid Crystals, LC Glass);
- взвешенные частицы (SPD, Suspended Particle Devices);
- электрохромные частицы (ECD, ElectroChromatic Devices, EC Glass).

Технология SPD запатентована американской компанией Research Frontier. Производителем стекол является американская компания AGP, торговое название – Vario Plus (Варио Плюс).

В качестве одного из основных свойств Vario Plus разработчики отмечают препятствование попаданию в автомобиль инфракрасного (ИК) и ультрафиолетового (УФ) излучений, повышающих комфорт пассажиров и уменьшая нагрев салона солнечными лучами.

Однако подобное свойство важно для сохранения тепла, например, в помещении в зимний период.

Разработчики отмечают высокую прочность стекла Vario Plus, что улучшает сохранность при эксплуатации, а также защищает от ударов и вандализма. Регулировка степени прозрачности дискретная: прозрачная, средняя и максимально затемненная.

Важной особенностью, с точки зрения потребительских свойств, является то, что стекло выполняется на заказ индивидуально для каждого автомобиля.

Технические характеристики Vario Plus Sky: светопропускание – 50, 40 или 10%; ИК-пропускание – <50%, <35% или <23%; потери звука на 4000 Гц – 44,2 dB; максимальный размер стекла – 1,2×2,0 м; рабочее напряжение переменного тока – 30...120 В; скорость переключения при +25 °С менее 80 мс; потребление энергии 5...16 Вт/м²; диапазон рабочих температур от –16 до +55 °С.

Технология PDLC была разработана, запатентована и внедрена корейской компанией DM DISPLAY. Компания выпускает монохромную пленку двух видов Smart и Smart Glass (на клеевой основе) и уже в России из нее производится триплекс-стекло.

Пленка состоит из двух слоев, между которыми находится жидкокристаллический слой. В состоянии покоя молекулы кристаллов хаотично расположены относительно друг к другу и свет не может пройти через пленку, и стекло выглядит матовым.

При подаче напряжения на пленку создается электрическое поле, которое выстраивает кристаллы вдоль линий напряженности, и свет начинает проходить через пленку или стекло, сделанное с использованием этой пленки. Пленка поставляется в листах длиной 3 м, шириной 0,98 и 1,2 м.

Технические характеристики PDLC-пленки: светопропускание – 75% (выключено), 82% (включено); рассеивание – 90% (выключено), 5% (включено); напряжение питания 75...110 В, 50/60 Гц; энергопотребление менее 10 Вт/м²; диапазон рабочих температур от 0 до +40 °С.

Принципиальное отличие ECD-технологии заключается в том, что в отличие от смарт-стекла PDLC и SPD, рабочий слой формируется многослойным напылением на пленку или стекло и в выключенном состоянии прозрачен.

Изменение состояния происходит за счет миграции ионов под действием тока. Контроль затемнения осуществляется изменением полярности и величины подаваемого напряжения. Данная технология весьма перспективна, однако коммерческого применения пока не получила.

Некоторые технические характеристики экспериментальных ECD-стекел: цвет – три оттенка синего и зеленого цветов; светопропускание – 34% (включено); напряжение питания постоянного тока – 2 В; габаритные размеры – не более 2×1 м; время полного затемнения – от 2 до 10 минут; время полного осветления – от 4 до 15 минут; удельный вес электрохромного стекла – 20 кг/м².

Структура стекла, производимого по технологии PDLC и SPD, а также принцип действия показаны на рис. 1. Стекло представляет собой пакет из двух стекол, на внутреннюю сторону которых наносятся электропроводный и жидкокристаллические слои. Отличия технологий заключаются в применяемом жидкокристаллическом слое. При отключенном питании и отсутствии поля частицы жидких кристаллов расположены хаотично и прозрачность стекла низкая (рис. 2, а). Подача

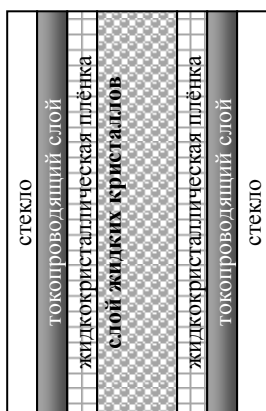


Рис. 1. Структура стекла

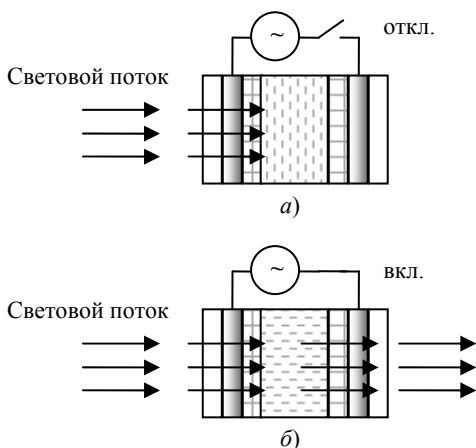


Рис. 2. Принцип работы

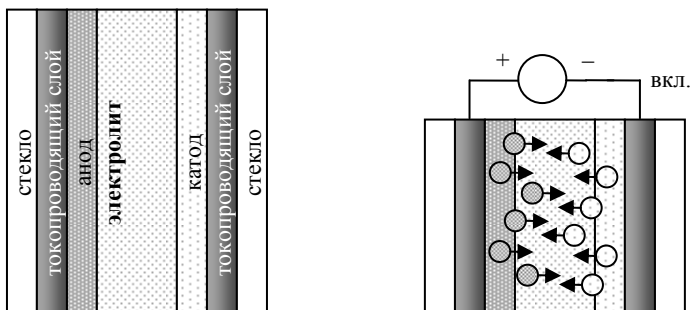


Рис. 3. Структура и принцип работы электрохромного стекла

напряжения на электропроводный слой ориентирует частицы и прозрачность стекла увеличивается (рис. 2, а).

Технология ECD предполагает изменение прозрачности вследствие изменения интенсивности движения ионов или обратимой электрохимической реакции (рис. 3).

В состоянии покоя слой абсолютно прозрачен, стекло ничем не отличается от обыкновенного полированного стекла. При подаче напряжения в 2 В анодная и катодная составляющие в процессе электролиза окрашиваются в синий или зеленый цвет. При выключении питания все возвращается в исходное положение.

Авторы статьи предлагают применить углеродные нанотрубки «Таунит» в качестве элементов замены жидких кристаллов технологии PDLC и SPD и уменьшить напряжение питания со 100 до 12 В за счет применения электролита, как в технологии ECD.

Очевидно, что в исходном состоянии углеродные нанотрубки не способны ориентироваться под действием электрического поля, однако функционализированные нанотрубки могут играть роль диполей.

В исследованиях [2, 4] доказано влияние углеродных нанотрубок на оптические свойства жидкостей, что может быть основанием для разработки технологии «Умное стекло» на основе электрохромных наномодифицированных покрытий, повышающих энергосбережение.

Список литературы

1. *Техническая* и справочная информация предприятия «ШТИВЕР». – URL : <http://www.shtiever.com/library.html>.
2. *Оптические* методы измерения концентрации углеродного наноматериала «Таунит» в растворах электролитов / И. А. Дьяков, Ю. В. Литовка, О. А. Кузнецова, А. Г. Ткачев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2013. – Т. 79, № 2. – С. 35 – 38.

3. *Давыдова, Д. В.* Математическая модель изменения оптических свойств электролита оловянирования от времени эксплуатации / Д. В. Давыдова, И. А. Дьяков // Математические методы в технике и технологиях : XXVII Междунар. конф. – Саратов, 2014. – Т. 8. – С. 76–77.

4. *Дьяков, И. А.* Проверка условий применимости закона Бугера–Ламберта–Бера в водных растворах электролитов с углеродными нанотрубками «ТАУНИТ» / И. А. Дьяков, Д. В. Давыдова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2014. – Т. 20, № 3. – С. 521 – 527.

*Кафедра «Автоматика и компьютерные системы управления»
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*