

УДК 772.19;621.383.51

А.Л.Гусев (ООО "Научно-технический центр "ТАТА", Россия, Нижегородская обл., г. Саров)

## Фотохромные и электрохромные триплексы для систем климат-контроля

*Представлены результаты успешного выполнения НИОКР по фотохромным и электрохромным триплексам для систем климат-контроля. Создан научно-технический задел для организации опытных производств. Проведены организационные и научно-технологические работы по созданию производства электрохромных триплексов, планируется начать строительство опытного участка в городе Сарове. Предполагается создание трех участков с 3-мя различными технологиями производства электрохромной пленки.*

**Ключевые слова:** Фотохромные и электрохромные триплексы, электрохромная пленка, климат-контроль, научно-технический задел, опытное производство.

*Представлені результати успішного виконання НДЕКР з фотохромними та електрохромними триплексами для систем клімат-контролю. Створено науково-технічний доробок для організації експериментальних виробництв. Проведено організаційні та науково-технологічні роботи зі створення виробництва електрохромних триплексів, планується розпочати будівництво експериментальної ділянки в місті Сарові. Передбачається створення трьох ділянок з 3-ма різними технологіями виробництва електрохромної плівки.*

**Ключові слова:** фотохромні та електрохромні триплекси, електрохромна плівка, клімат-контроль, науково-технічний доробок, експериментальне виробництво.

В результате успешного выполнения НИОКР по фотохромным и электрохромным триплексам для систем климат-контроля создан научно-технический задел для организации опытных производств. Проведены организационные и научно-технологические работы по созданию производства электрохромных триплексов, в августе 2013 года планируется начать строительство опытного участка в городе Сарове. Предполагается создание трех участков с 3-мя различными технологиями производства электрохромной пленки.

В 2013-2016 годах планируется проведение ОКР по организации производства фотохромных микронаполнителей. В 2016-2020 годах планируется создание опытного участка по производству фотохромных микронаполнителей и фотохромных триплексов.

### 1. Фотохромные триплексы для систем климат-контроля.

Разработана технология изготовления олигомер-мономерных композиций для получения фотохромных триплексов, содержащих в качестве наполнителя порошок силикатного стекла, импрегнированного неорганическим фотохромным соединением.

Оптимизирован состав связующих, размер частиц наполнителя и методов его предварительной подготовки, лабораторных способов смешения связующего с наполнителем и режимов отверждения внутреннего слоя триплексов. Разработанные материалы сочетают высокие фотохромные свойства, сохраняемые при долговременном использовании: достаточную интенсивность окрашивания при облучении и высокую скорость обесцвечивания, а также хорошие оптические свойства, такие как бесцветность и прозрачность.

Материал сохраняет не менее 60% оптического пропускания в видимой области спектра в диапазоне температур  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  при температурах окружающей среды от 10 до  $40^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, трехмерные сетчатые материалы обладают высокой эластичностью и ударной вязкостью, стойкостью к действию растворителей, твердостью, теплостойкостью.

Проведено исследование и контроль отражения ИК излучения от ИК-отражающего покрытия, а также экранирования УФ и ИК излучения термопластичными композиционными фотохромными полимерными материалами. Показано соответствие измеренных характеристик ТЗ.

Проведено спектрально-кинетическое исследование характеристик опытных образцов фотохромных триплексов. Показано соответствие измеренных характеристик ТЗ.

Проведенные исследования опытных образцов фотохромных триплексов на устойчивость к необратимой утрате фотохромных свойств на солнечном свете показали, что по этому параметру они превосходят выпускаемые за рубежом фотохромные пластиковые полимерные материалы на основе органических фотохромных соединений и сравнимы с коммерческими фотохромными силикатными материалами на основе галогенидов серебра. В отличие от последних, размер фотохромных триплексов и их механическая прочность обеспечат их широкое применение в промышленности.

По результатам работ оформлены технические условия и технологические инструкции.

Разработанный оригинальный конвейер для производства фотохромных триплексов относится к устройствам изготовления фотохромных триплексов, состоящих из двух листов органического стекла, которые связаны между собой фотохромным полимером. Триплексы предназначены для изготовления различного типа деталей остекления, способных к изменению окраски при облучении.

Решена задача автоматизации полного цикла изготовления фотохромных триплексов с программным сопровождением. Конвейер для изготовления фотохромного триплекса включает в себя блок управления, последовательно установленные и связанные между собой трубопроводами бункер с силикатным сырьем, плазматрон, конденсатор-формирователь микрошариков и их накопитель, ионообменное устройство, снабженное емкостью с раствором серебра и емкостью с хлором, для придания микрошарикам фотохромных свойств, накопитель фотохромных микрошариков, смеситель, связанный, в свою очередь, с емкостью с полимерным связующим. Автоматическая линия подачи и формирования пакета из полимерных пластин включает в себя картридж с пластинами, блок подготовки пластин, блок нанесения полученной смеси фотохромных микрошариков с полимерным связующим, блок прес-

сования пластин, блок удаления излишков смеси, блок полимеризации, блок контроля качества, накопитель готовой продукции; при этом блок управления имеет возможность контролировать весь технологический цикл.

Разработанный оригинальный конвейер для изготовления фотохромного полимерного триплекса с ИТО-покрытием будет производить фотохромные триплексы, состоящие, по крайней мере, из двух листов органического стекла, связанных между собой фотохромным полимером и имеющих токопроводящий слой. Решена задача автоматизации полного цикла изготовления фотохромных триплексов, имеющих токопроводящий слой, с программным сопровождением. Конвейер для изготовления фотохромного полимерного триплекса с ИТО-покрытием включает в себя блок управления, последовательно установленные и связанные между собой трубопроводами бункер с силикатным сырьем, плазматрон, конденсатор-формирователь микрошариков и их накопитель, ионообменное устройство, снабженное емкостью с раствором серебра и емкостью с хлором, для придания микрошарикам фотохромных свойств, накопитель фотохромных микрошариков, смеситель, связанный, в свою очередь, с емкостью с полимерным связующим. Далее установлена автоматическая линия подачи и формирования пакета из полимерных пластин, включающая в себя картридж с пластинами, связанный с блоком нанесения ИТО-покрытия на пластину и блоком подготовки пластин, блок нанесения полученной смеси фотохромных микрошариков с полимерным связующим, в который имеется возможность поочередной подачи подготовленных пластин и пластины с ИТО-покрытием, блок прессования пластин, блок удаления излишков смеси, блок полимеризации, блок контроля качества, накопитель готовой продукции; при этом блок управления имеет возможность контролировать весь технологический цикл.

Разработанный оригинальный конвейер для изготовления фотохромного полимерного триплекса сложной формы будет производить фотохромные триплексы, состоящие, по крайней мере, из двух листов органического стекла, связанных между собой фотохромным полимером и

имеющих сложную форму. Решена задача автоматизации полного цикла изготовления фотохромных триплексов, имеющих сложную форму, с программным сопровождением. Конвейер для изготовления фотохромного полимерного триплекса сложной формы включает блок управления, последовательно установленные и связанные между собой трубопроводами бункер с силикатным сырьем, плазматрон, конденсатор-формирователь микрошариков и их накопитель, ионообменное устройство, снабженное емкостью с раствором серебра и емкостью с хлором, для придания микрошарикам фотохромных свойств, накопитель фотохромных микрошариков, смеситель, связанный, в свою очередь, с емкостью с полимерным связующим. Далее установлена автоматическая линия подачи и формирования пакета из полимерных пластин, включающая в себя картридж с пластинами, связанный, по крайней мере, с двумя экструдерами, каждый из которых, в свою очередь, связан с блоком нанесения полученной смеси фотохромных микрошариков с полимерным связующим, в который имеется возможность поочередной подачи подготовленных пластин, блок прессования пластин, блок удаления излишков смеси, блок полимеризации, блок контроля качества, накопитель готовой продукции; при этом блок управления имеет возможность контролировать весь технологический цикл.

Разработанный оригинальный конвейер для производства фотохромного полимерного триплекса сложной формы с ИТО-покрытием будет производить фотохромные триплексы, состоящие, по крайней мере, из двух листов органического стекла, которые связаны между собой фотохромным полимером и имеющие сложную форму и токопроводящий слой. Решена задача автоматизации полного цикла изготовления фотохромных триплексов сложной формы, имеющих токопроводящий слой, с программным сопровождением. Конвейер для изготовления фотохромного полимерного триплекса сложной формы с ИТО-покрытием включает блок управления, последовательно установленные и связанные между собой трубопроводами бункер с силикатным сырьем, плазматрон, конденсатор-

формирователь микрошариков и их накопитель, ионообменное устройство, снабженное емкостью с раствором серебра и емкостью с хлором, для придания микрошарикам фотохромных свойств, накопитель фотохромных микрошариков, смеситель, связанный, в свою очередь, с емкостью с полимерным связующим. Далее установлена автоматическая линия подачи и формирования пакета из полимерных пластин, включающая в себя картридж с пластинами, связанный, по крайней мере, с двумя экструдерами, один из них связан с установкой для нанесения ИТО-покрытия на пластину, а каждый из них связан с блоком нанесения полученной смеси фотохромных микрошариков с полимерным связующим, в который имеется возможность поочередной подачи пластин и пластины с ИТО-покрытием, блок прессования пластин, блок удаления излишков смеси, блок полимеризации, блок контроля качества, накопитель готовой продукции; при этом блок управления имеет возможность контролировать весь технологический цикл.

### **1.1. Основные технические характеристики изделия. Сравнение с аналогами.**

Достигнуты основные технические характеристики изделия:

#### **для фотохромных силикатных микронаполнителей:**

- размер фотохромных силикатных шариков должен находиться в диапазоне 10-300 мкм;
- светопропускание в видимой области спектра в исходном состоянии  $\geq 60\%$ ;
- время перехода из исходного состояния в фотоиндуцированное  $\leq 60$  с;
- максимальное изменение светопропускания в видимой области спектра в фотоиндуцированном состоянии  $\geq 60\%$  от светопропускания в исходном состоянии;
- время перехода из фотоиндуцированного состояния в исходное  $\leq 300$  с;
- показатель преломления  $n = 1,51-1,56$ .

#### **для фотохромных триплексов:**

- толщина фотохромных триплексов составляет от 5 до 100 мм;
- светопропускание в видимой области спектра в исходном состоянии – 60%;

- максимальное изменение светопропускания в видимой области спектра в фотоиндуцированном состоянии  $\geq 60\%$  от светопропускания в исходном состоянии;

- пропускание УФ-излучения  $\leq 1\%$ ;

- отражение ИК излучения (с использованием специального ИК-отражающего покрытия)  $\geq 40\%$ ;

- общее экранирование солнечного ИК излучения  $\geq 60\%$ ;

- показатель преломления  $n = 1,51-1,56$ .

Достигнутые характеристики разрабатываемых композиционных полимерно-неорганических фотохромных материалов на основе акрилатных полимеров и сферических фотохромных частиц из силикатного стекла позволят осуществить прорыв в производстве крупногабаритных фотохромных оптических стекол различного назначения. При этом создаваемые фотохромные материалы (прежде всего, оптимизация подбора размера и плотности фотохромного наполнителя в композиционном материале триплекса) обеспечат максимальную защиту от проникновения внутрь термостатируемых объектов как ультрафиолетового излучения (УФ) за счет поглощения, так и инфракрасного (ИК) – за счет максимального отражения, высокий уровень фотохромных свойств, обеспечивающих автоматическое изменение светопропускания стекол в зависимости от уровня освещенности, а также оптических характеристик, таких как прозрачность и практически приемлемый срок эксплуатации на солнечном свете по сравнению с известными аналогами.

В России производство таких материалов отсутствует.

### **1.2. Область применения. Потенциальные потребители.**

Разрабатываемые технологии получения новых термопластичных композиционных фотохромных ИК и УФ защитных и энергосберегающих полимерных материалов с высокими физико-механическими свойствами предназначены к использованию в конструкциях и деталях энергоэффективного остекления объектов широкого применения, в том числе:

- в авиационной и космической технике;

- в автомобилестроении;

- при строительстве железнодорожных вокзалов, аэропортов, административных сооружений;

- при строительстве жилых помещений (мансарды и т.д.);

- в судостроении и яхтостроении;

- при строительстве спортивных сооружений;

- при изготовлении элементов плавучести, бубов, аппаратуры для подводных исследований, батискафов;

- в производстве композиционных материалов для радиотехники и электроники;

- в производстве синтактных пен для повышения жесткости ламинатов;

- в стоматологии (слепочные и формовочные массы);

- при изготовлении мастик, шпатлевок, герметиков, лакокрасочных и клеящих материалов, легких цементов, звуко- и теплоизоляционных изделий;

- при создании защитных поверхностных слоев для предотвращения улетучивания токсичных и легколетучих жидких веществ (нефти, нефтепродуктов) из открытых хранилищ;

- в криогенной технике;

- в производстве эффективных добавок к взрывчатым веществам;

- в качестве подложек для катализаторов, работающих в режиме кипящего слоя.

### **1.3. Перспективы освоения разработки в производстве.**

Применение разработанных на уровне ноу-хау технологий и условий изготовления фотохромных триплексов позволит снизить себестоимость изготавливаемых в настоящее время изделий для авиакосмической промышленности и судостроения, транспортного машиностроения, приборостроения, строительных конструкций на 20-30%; снизить вес конструкций и повысить их ресурс на 200-300% в сравнении с применяемыми зарубежными материалами аналогами и, как следствие, повысить конкурентоспособность изделий.

## 2. Электрохромные триплексы для систем климат-контроля.

Научно-технический центр "ТАТА" и Институт водородной экономики обладают серьезным научно-техническим заделом. Научно-технический центр "ТАТА" и Институт водородной экономики планирует в рамках частно-государственного партнерства развить производственную базу по выпуску электрохромной пленки для производства триплексов необходимой конфигурации для нужд автопрома, авиации, яхтостроения, ЖКХ и других областей народного хозяйства. Научно-технический центр "ТАТА" и Институт водородной экономики ищут партнеров для реализации проекта с возможностью продажи доли в виде акций как частным, так и государственным организациям. Использование недавно появившихся на рынке электрохромных "умных" окон затруднено из-за их высокой стоимости (более 300 €/м<sup>2</sup>), ограниченного срока службы (2-2,5 года) и необходимости радикального изменения конструкции остекления. Мы предлагаем принципиально новое решение – относительно дешевые (~75 €/м<sup>2</sup>) многослойные светорегулирующие и энергосберегающие электрохромные панели на основе гибких нанокompозитных полимерных пленок, которые могут крепиться к остеклению с помощью прозрачного клеевого слоя или специальных зажимов, а также входить в состав конструкции полимерных или стеклянных триплексов. В НТЦ "ТАТА" и Институте водородной экономики разработана технология изготовления электрохромных гибких панелей (ГЭП), значительным преимуществом которых является небольшое электропотребление и малый вес изделия, а также возможность ее быстрой замены. Нами созданы лабораторные образцы солнцезащитных энергосберегающих ГЭП и их составных элементов (рис. 1, 2), которые могут применяться для придания солнцезащитных и теплозащитных свойств остеклению любого размера и различного назначения (жилые и административные здания, транспортные средства и т.п.) и позволят существенно снизить энергопотребление (до 40%) систем климат-контроля в бытовых, производственных помещениях и транспортных средствах.



а) Прозрачное состояние



б) Подача электрического импульса и изменение состояния электролита, приобретение синеватой окраски



в) Дальнейшее изменение состояния электролита и приобретение темно-синей окраски



г) Дальнейшее изменение состояния электролита и приобретение практически непрозрачной темно-синей окраски



д) Поддача электрического импульса и изменение состояния электролита – переход в первоначальное состояние



е) Дальнейший переход в первоначальное состояние электролита

Рис. 1. Работа гибкой электрохромной панели при подаче краткого электрического импульса  $U = 2$  В для переключения состояния электролита.

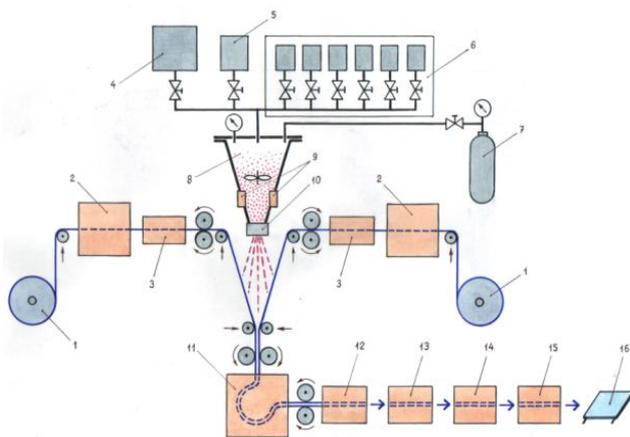


Рис. 2. Схема конвейера (Вариант – 1) для производства гибких электрохромных панелей: 1 – рулоны пленки; 2 – магнетроны; 3 – блоки датчиков контроля; 4 – емкость с электролитом; 5 – емкость с электропроводящим материалом; 6 – блок картриджей; 7 – баллон с инертным газом; 8 – бункер-смеситель; 9 – датчики контроля смеси; 10 – дозатор; 11 – блок удаления излишков электрохромного материала; 12 – блок форматирования; 13 – блок нанесения электроконтактов; 14 – блок герметизации и сушки; 15 – блок контроля качества панели; 16 – готовая панель.

## 2.1. Области и масштабы использования полученных результатов.

Экспертные оценки показывают, что использование электрохромного остекления в современных архитектурных конструкциях может привести к экономии до 40% затрат энергии, которая тратится на кондиционирование и освещение помещений. Кроме того, использование таких стекол позволяет увеличить производительность труда на 25% за счет создания комфортных условий в офисном помещении в жаркий солнечный день.

Использование адаптивного остекления в конструкции транспортных средств позволит снизить на 18-30% мощность устройств кондиционирования и увеличит безопасность передвижения за счет создания комфортных условий для пассажиров и работы экипажа. Согласно прогнозам, в период с 2005 по 2015 г. будет наблюдаться увеличение спроса на "умное стекло" на рынке США – 250%.

**2.1.1. Области применения полученных результатов (области науки и техники; отрасли промышленности и социальной сферы, в которых могут использоваться полученные результаты или созданная на их основе инновационная продукция).**

На основе электрохромных панелей можно производить архитектурное и автомобильное остекление с регулируемым светопропусканием, зеркала транспортных средств (уменьшение негативного воздействия ослепляющего эффекта), элементы остекления самолетов, вертолетов, космических кораблей, морских судов и пр.

Электрохромное остекление успешно применяется на рынке информационных дисплеев, в различных индикаторных устройствах и информационных табло коллективного общественного пользования. Спектр такого применения обширен: дисплеи компьютерных мониторов, мобильных телефонов, номера маршрутов общественного транспорта, наружная реклама и пр.

Хорошее применение нашло использование гибких электрохромных плёнок в так называемых средствах отображения информации. Привлекает простота изготовления гибких дисплеев, когда электрохромные слои на основе проводящих поли-

меров можно наносить на стекло методами обычной трафаретной печати, а также небольшое электропотребление и малый вес изделия.

В настоящее время в дизайне архитектурных строений и транспортных средств прослеживается тенденция к увеличению площади остекления. Однако увеличение площади остекления приводит к повышению потока солнечной радиации, попадающего внутрь помещения, что неизбежно ведет к увеличению температуры, а, следовательно, к увеличению расходов на кондиционирование. Использование тонированных затемненных стекол частично решает проблему, но тогда возрастают затраты на освещение помещений в условиях малого светового потока.

Решение проблемы состоит в использовании относительно дешевых (прогнозная цена серийно выпускаемой продукции  $\approx 2500-3000$  руб/м<sup>2</sup>) многослойных светорегулирующих и энергосберегающих электрохромных панелей на основе гибких полимерных пленок. Предполагается, что светорегулирующая система будет крепиться к остеклению с помощью прозрачного клеевого слоя или специальных зажимов, что обеспечит быструю замену вышедшего из строя элемента, а также в составе электрохромного триплекса.

## **2.2. Ход практического внедрения полученных результатов.**

Ориентировочная оценка конкурентоспособности разрабатываемых в Институте водородной экономики и НТЦ "ТАТА" гибких электрохромных конструкций указывает на возможные конкурентные преимущества такой коммерчески ориентированной продукции, с которой можно выходить на российский, а в дальнейшем и на мировой рынок "умного стекла". Гибкие энергосберегающие электрохромные панели разрабатываемого типа могут применяться для придания солнцезащитных и теплозащитных свойств остеклению любого размера и различного назначения (жилые и административные здания, транспортные средства и т.п.). В настоящее время подготовлено ТЗ на продолжение НИР по теме: "Создание задела для проведения ОКР по разработке принципиально новых функциональных конструкций (полимерных и стеклянных) триплексов на основе гибких электрохромных устройств" – 12 месяцев.

## **2.3. Оценка или прогноз влияния полученных результатов, товаров и услуг, созданных на основе полученных результатов, на развитие науки, техники, экономики и социальной сферы России.**

Можно ожидать, что применение энергосберегающих электрохромных панелей на основе гибких полимерных пленок в составе электрохромных триплексов позволит существенно снизить энергопотребление в системах климат-контроля в бытовых и производственных помещениях и транспортных средствах.

## **2.4. Дальнейшую работу предполагается продолжить следующим образом:**

а) Проведение НИР по теме: "Создание задела для проведения ОКР по разработке принципиально новых функциональных конструкций (полимерных и стеклянных) триплексов на основе гибких электрохромных устройств" планируется провести в течение 12 месяцев.

В следующей НИР крайне важно оценить и оптимизировать тепловой режим работы электрохромного пластикового или стеклянного триплекса. Выполнить большой объем экспериментальных исследований электрохромной панели на отказ в условиях воздействия температуры Нижегородской области и УФ излучения. Выполнить большой объем экспериментальных работ по изучению влияния воздействия температуры и УФ излучения, а также вибрационных нагрузок на ресурсные характеристики панели состава электролита и активных электрохромных слоев. Отработать технологии получения гибких электрохромных панелей с поверхностью оптического качества.

б) ОКР по теме: "Разработка конвейера для производства наноструктурированных адаптивных энергосберегающих свето- и теплозащитных триплексов для остекления транспортных средств, архитектурных светоограждающих конструкций" планируется провести в течение 12 месяцев.

в) Полную коммерциализацию планируется провести в течение 60 месяцев. При этом научный и технологический коммерческий потенциал позволит обеспечить лидерство в заявленной области в течение 7-10 лет. Разработки позволят

занять России экономическую нишу в области создания наноструктурированных адаптивных энергосберегающих свето- и теплозащитных пла- стиков для остекления транспортных средств, архитектурных светоограждающих конструкций.

**Заключение.** В процессе выполнения работы разработаны концепт-технологии:

- по производству электрохромной ленты с формируемыми ГЭП с максимальными размерами макета электрохромной панели – 2200×2200 мм со следующими характеристиками:

- исходное светопропускание не менее 60%;
- светопропускание в окрашенном состоянии – 10%;
- время окрашивания-обесцвечивания – 8-10 секунд;
- энергетический коэффициент ослабления солнечной радиации – 3.

В 2013-2016 годах планируется:

1. Создать опытно-промышленное производство гибких электрохромных панелей в три линии с общей мощностью до 200 000 м<sup>2</sup> в год:

- 2014 год – запуск первой линии – 25 000 кв. м в год (магнетронный метод нанесения ИТО; нанесение жидкого электролита с полимеризацией при сборке пакета; сборка пакета ГЭП в вакуумно-полимеризационной камере);

- 2015 год – запуск второй линии – 75 000 кв. м в год (roll-to-roll processing нанесения

ИТО – безмагнетронные методы; нанесение жидкого электролита с полимеризацией при сборке пакета);

- 2016 год – запуск третьей линии – 100 000 кв. м в год (принтерные технологии создания ИТО (наночернила);

- безмагнетронные методы; использование твердого пленочного электролита; компьютерное форматирование ГЭП в рулоне; сборка ГЭП roll-to-roll processing;

- 2016 год – начало выпуска конфигура- торов ГЭП в рулоне для мелкооптовых заказчиков.

2. 2014-2016 годы: будут внедряться разработанные технологии производства 15 видов рулонного электрохромного материала: рулонные образцы продукции семи цветов с разной степенью насыщения; рулонные образцы продукции с различными температурными интервалами функционирования; рулонные образцы с различной степенью защиты (целевые продукты по защите от ИК, УФ и других видов излучения); рулонные образцы с прозрачной клеевой основой.

3. 2014-2016 годы: будет осуществляться тиражирование производства в регионах.

4. 2013-2016 годы: будет осуществляться крупномасштабная рекламная деятельность и реализация ГЭП и электрохромной продукции.

5. 2016-2020 годы: будет осуществляться создание производств по выпуску фотохромных триплексов.