



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

«Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»  
(АО «НПО Лавочкина»)



Ленинградская ул., д. 24, г. Химки,  
Московская область, 141402  
ОГРН 1175029009363, ИНН 5047196566

Тел. +7 (495) 573-56-75, факс +7 (495) 573-35-95  
e-mail: npol@iaspace.ru  
www.iaspace.ru

от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### Отзыв

**официального оппонента, доктора технических наук,**

**Сысоева Валентина Константиновича**

на диссертацию **Петрачкова Дмитрия Николаевича**

на тему: «Сложнопрофильные изделия из силикатного стекла с

токопроводящим покрытием», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

Электрообогреваемые сложнопрофильные крупногабаритные изделия из стекла с высокими эксплуатационными характеристиками, необходимы для современных транспортных средств от автомобилей до самолетов. Технология создания таких изделий основывается на использовании высокопрозрачных оптических стекол с высокой прочностью и электропроводящих материалах для создания резистивного нагрева.

Создание электрообогреваемых сложнопрофильных крупногабаритных изделия из стекла с высокими эксплуатационными характеристиками требует разработки комплексной технологии от обработки высокопрочных оптических стекол с нанесением электропроводящих покрытий до сборки изделий с сертификацией их характеристик.

Поэтому тема диссертационного исследования несомненна **актуальна.**

Решение проблем, связанных с разработками и производством электрообогреваемых сложнопрофильных крупногабаритных изделий из стекла для обеспечения их эксплуатационной надежности и работоспособности, требует использование высококачественных материалов. Применение стекол с высокими прочностными характеристиками имеет ряд преимуществ, поскольку предоставляет возможность создания более легких конструкций с сохранением требуемых тактико-технических характеристик.

Оксидные пленки из олова и индия, допированного оксидом олова широко используются для получения стекол с токопроводящим покрытием на требуемом нормативными документами уровне в сочетании со светопропусканием не ниже 65 %, равномерным распределением температурного поля по площади обогрева при потребляемой мощности до 7 кВт/м<sup>2</sup>. Анализ последних разработок в области токопроводящих покрытий говорит о высоком потенциале оксида индия, допированного оксидом олова.

Тем не менее, процесс разработки новых крупногабаритных изделий из стекла подразумевает итерационный подбор материалов и температурно-временных режимов их применения, что часто является малоэффективным. Поэтому для ускорения процесса разработки и изготовления весьма желательно использовать нестандартные подходы, основанные на минимальном количестве эмпирических данных и адекватных теоретических моделях.

**Целью** диссертационного исследования является разработка и внедрение методов совершенствования технологии изготовления электрообогреваемых элементов сложнопрофильных изделий из стекла для обеспечения их эксплуатационной надежности и работоспособности, с одновременным повышением эффективности и экологической безопасности производства.

Для достижения поставленной цели автор решал следующие ключевые **задачи**:

- выбор состава токопроводящего покрытия (ТПП) на поверхности силикатного стекла;

- исследование и разработка режимов получения сплошных и градиентных токопроводящих покрытий на поверхности силикатных стекол методом магнетронного напыления;

- выбор способа удаления токопроводящего покрытия по периметру сложнопрофильного элемента транспортного остекления (формирование зоны обогрева);

- создание технологии нанесения токопроводящих шинок – разработка состава покрытия на основе алюминия и меди, а также условий его нанесения газодинамическим методом;

- разработка метода нанесения токопроводящих шинок на органическое стекло с токопроводящим покрытием с помощью технологии гальваники.

В диссертации Петрачкова Дмитрия Николаевича представлен классический путь разработки технологии получения электрообогреваемых сложнопрофильных крупногабаритных изделий из стекла заключающийся в рациональном выборе экспертных оценок и большом объеме экспериментальных работ, подтверждающих высокое качество создаваемой технологии.

Диссертация Петрачкова Д.Н. состоит из введения, литературного обзора, методической части, результатов исследований и их анализа, заключения и списка литературы. Работа изложена на 130 страницах машинописного текста, включая 45 рисунков, 11 таблиц, библиографию из 64 наименований, список работ, опубликованных автором и приложения.

Во **введении** автор обстоятельно обосновывает выбор темы диссертации, отмечая актуальность темы и степень разработанности проблемы. Формулируется цель и ключевые задачи исследования.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Установлено, что равномерный обогрев поверхности сложнопрофильных элементов остекления транспортных средств зависит от эффективной толщины и электросопротивления покрытия. Для обеспечения равномерного распределения температурного поля на поверхности изделия

определены условия формирования одномерного и градиентного покрытий из оксида индия, допированного оксидом олова, методом магнетронного напыления.

2. Установлено влияние параметров лазерного излучения на абляцию различных типов токопроводящего покрытия с поверхности листового силикатного стекла. Выявлено, что прочностные характеристики изделия возрастают при лазерном воздействии одновременно с процессом удаления покрытия, так как происходит термическое «залечивание» дефектов в поверхностном слое стекла.

3. Установлено, что электропроводность медно-алюминиевых шинков в пять раз выше, чем силикатно-серебряных, нанесенных традиционным методом, а сам процесс газодинамического напыления не оказывает влияния на состояние электрообогреваемой поверхности и прочностные характеристики стекла; при этом достигается высокая адгезионная прочность контакта шинки с токопроводящим покрытием.

**Теоретическая и практическая значимость** работы выражена в следующем: организовано промышленное производство сложнопрофильных электрообогреваемых изделий остекления с использованием новых технологий и современного технологического оборудования;

На защиту автор выносит следующие **положения**, которые показывают решение целей диссертационного исследования:

1. Метод магнетронного нанесения токопроводящего покрытия из оксида олова и оксида индия, допированного оксидом олова, на плоские и криволинейные поверхности элементов лобового остекления транспортных средств обеспечивает равномерное распределение температурных полей на поверхности изделий.

2. Метод лазерной абляции для прецизионного удаления токопроводящего покрытия с поверхности силикатного стекла способствует термическому «залечиванию» дефектов в поверхностном слое стекла, что приводит к повышению прочностных характеристик изделия.

3. Технология «холодного» газодинамического нанесения токопроводящих медно-алюминиевых шинок на листовое силикатное стекло с электропроводящим покрытием позволяет исключить высокотемпературную стадию спекания и обеспечивает необходимую проводимость токоподводов для электрообогреваемых изделий.

**Первая глава** диссертации Петрачкова Д.Н. посвящена обзору научной литературы и патентных источников по теме изделия из силикатного стекла с токопроводящим покрытием. Следует отметить большое количество ссылок как на фундаментальные исследования, так и современные прикладные работы.

**Вторая глава** содержит описание процессов формирования токопроводящих покрытий на поверхности стекла термохимическим и магнетронным способом; методики удаления токопроводящего покрытия с поверхности стекла традиционными способами (травление кислотой и механическое удаление) и с использованием иттербиевого импульсного волоконного лазера для формирования зоны обогрева; подготовки материалов и методики нанесения токопроводящих шинок, а также описание методов исследования электрических, механических и оптических свойств стекол с покрытиями и шинками. Весь комплекс взаимодополняющих методов подтверждает достоверность результатов исследования и сделанных по работе выводов.

**Третья глава** диссертации освещает результаты выполненных исследований и их анализ. В первом разделе проведены сравнительные исследования свойств покрытий, полученных термохимическим (оксидно-оловянное) и магнетронным (оксидно-индиевое) способами для электрообогреваемых конструкций. Второй раздел посвящен разработке режимов формирования токопроводящего покрытия с разной толщиной токопроводящего слоя и переменным удельным поверхностным сопротивлением на поверхности сложного профиля, что обеспечивает ее равномерное освобождение от наледи. В разделе три внимание уделено сравнительному исследованию способов частичного удаления токопроводящего

слоя с поверхности стекла для формирования зоны обогрева и изоляции края стекла. Рассмотрены как традиционные способы формирования зоны обогрева химическим травлением соляной кислотой, смешанной с цинковым порошком, или механической обработкой края изделия, так и метод удаления токопроводящего покрытия с использованием иттербиевого импульсного волоконного лазерного комплекса с длиной волны 1060 нм, средней мощностью пучка 20-30 Вт и длительностью импульса 70-90 нс. Раздел четыре посвящен разработке технологии формирования токоведущих шин, которые обеспечивают распределение напряжения питания по токопроводящему покрытию изделия с электрообогревом. Пятый раздел посвящен опробованию методик и разработке технологии нанесения токопроводящих шин на органическое стекло гальваническим способом и исследование их характеристик.

Результаты исследований показали равномерность температурного поля на поверхности стекла и отсутствие местного перегрева в районе расположения шин.

По материалам диссертации опубликовано 18 научных работ, в том числе 3 в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus. Результаты научного исследования апробированы на всероссийских и международных конференциях: опубликовано 9 работ в материалах конференций. Что очень важна результаты диссертационного исследования закреплены в виде 6 патентов на изобретения РФ.

В **заключении** подводятся итоги выполнения работы и содержатся рекомендации по использованию теоретических и практических результатов.

**По диссертационной работе имеются следующие замечания:**

1. В описании экспериментальных результатов по удалению токопроводящего покрытия с использованием лазерного комплекса не понятно, является ли рассмотренный источник лазерного излучения оптимальным по энергетическим временным и спектральным характеристикам;

2. При проведении экспериментальных исследований механизма формирования токопроводящей медно-алюминиевой шинки, основанного на внедрении в поверхность материала частиц, ускоренных с помощью сверхзвукового газового потока, в качестве рабочей среды предложен сжатый воздух, но не ясно оптимальный это вариант или возможно использование других газовых сред;

3. Автор описывает большое количество экспериментальных измерений но не всегда приводит данные по точности этих измерений;

4. Не приводятся значения максимальной температуры на поверхности стекла которые, достигаются при изготовлении изделий по разрабатываемой автором технологии;

5. В тексте диссертации имеется ряд оформительских ошибок:

- график на рис. 9 не имеет обозначений по осям;

- стр. 69 ошибка в тексте «лазера с мощностью излучения  $(20 - 30) 10^{-3}$  Вт/мм<sup>2</sup>» (здесь приводится не мощность, а плотность мощности излучения).

6. На стр. 87 написано «... позволило увеличить производительность линии и снизить брак при формировании ТПП ...» но при этом не приводится ни каких численных данных подтверждающих это достижение.

Однако, данные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Д.Н. Петрачкова.

Вышеизложенные материалы диссертационного исследования подтверждают приведенные автором защищаемые положения.

### **Заключение**

Диссертация Петрачкова Д.Н. на тему «Сложнопрофильные изделия из силикатного стекла с токопроводящим покрытием» является оригинальным научным трудом, посвященным исследованию и разработке изделий конструкционной оптики.

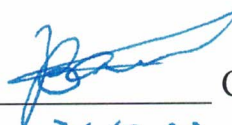
Считаю, что диссертационная работа Петрачкова Дмитрия Николаевича на тему «Сложнопрофильные изделия из силикатного стекла с токопроводящим

покрытием» соответствует паспорту специальности 2.6.14 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Таким образом, диссертация Петрачкова Дмитрия Николаевича является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие высокотехнологической промышленности нашей страны, что соответствует требованиям пп.9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор Петрачков Дмитрий Николаевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

**Официальный оппонент:**

доктор технических наук, начальник отдела  
научно-исследовательских работ  
и перспективных исследований  
АО «НПО Лавочкина»

  
Сысоев В.К.  
31.10.23

Подпись Сысоева В.К. заверяю

Заместитель генерального директора

АО «НПО Лавочкина»

по персоналу и общим вопросам



  
Шолохова И. В.