

## Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу

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

**Актуальность темы диссертации** определяется тем, что требования, связанные с обеспечением безопасности движения, сохранением жизни и здоровья людей, снижением вероятности возникновения аварийных ситуаций предъявляются к изделиям остекления сухопутного, воздушного и водного транспорта. В связи с тенденцией увеличения скоростей вновь создаваемых тягово-подвижных составов (ТПС), растут требования к прочностным и оптическим характеристикам электрообогреваемых лобовых стекол кабин машинистов. Конструкции лобового остекления изготавливаются из высококачественного листового стекла с токопроводящим покрытием, склеивающих материалов на основе поливинилбутеральных (ПВБ) пленок, они имеют сложную геометрическую форму, соединены в стеклопакет с помощью специальных рамок и герметиков. Применяемые промышленные технологии не позволяют обеспечить выпуск крупногабаритных сложнопрофильных изделий с повышенными техническими характеристиками: электропроводностью покрытия на требуемом нормативными документами уровне в сочетании со светопропусканием не ниже 65%, равномерным распределением температурного поля по площади обогрева при потребляемой мощности до  $7\text{кВт/м}^2$  с разбросом не более  $10^\circ\text{C}$ , что обуславливает необходимость разработки новых технологических решений.

Таким образом, выбранная тема диссертации является актуальной для решения задач, направленных на разработку новых наукоемких изделий конструкционной оптики, а представленные результаты носят прикладной характер и могут быть использованы при разработке и производстве востребованных изделий.

Диссертация Петрачкова Д.Н. представлена в классической форме в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011, имеет общий объем 130 страниц и

содержит введение (6 страниц), литературный обзор (34 страницы), методическую часть (19 страниц), результаты исследований и их анализ (27 страниц), заключение (3 страницы), список литературы (7 страниц – 64 источника), список работ, опубликованных автором (4 страницы – 18 источников) и приложения (27 страниц).

**Во введении** диссертантом отмечено современное состояние вопроса и ключевые направления развития исследуемой области, что достаточно четко отражает актуальность выбранной темы. Сформулированы цель работы и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, которые соответствуют обозначенным тенденциям развития. Обозначено 3 пункта положений, выносимых на защиту, которые напрямую согласуются с целью работы. В качестве апробации результатов работы приведен список российских и международных конференций.

Основная часть диссертации состоит из трех глав.

**В первой главе** сообщается об актуальном состоянии научных исследований, посвященных теме диссертации. Представлен обзор фундаментальных работ, касающихся изучения влияния различных компонентов токопроводящих покрытий на их электропроводность и оптические свойства стекол, приведен обзор и анализ наиболее современных научных статей и патентов по оптически прозрачным в видимой части спектра покрытиям и методам их нанесения, рассмотрен ряд прикладных применений газодинамического нанесения порошковых материалов и лазерных технологий, сформулированы выводы и обоснован выбор направлений исследований. Следует отметить исчерпывающий уровень приведенных ссылок, что подтверждает глубокую проработку и освещение выбранной темы.

**Во второй главе** описаны процессы формирования токопроводящих оптически прозрачных в видимой части спектра покрытий на поверхности стекла; методики удаления токопроводящего покрытия (ТПП) с поверхности стекла для формирования зоны обогрева и изоляции края; подготовки материалов и методики нанесения токопроводящих шинков, а также основные методы исследования, предполагающие изучение комплекса электрических, механических и оптических свойств стекол с покрытиями, отсечками и шинками.

Выбранные методы исследования в некоторой степени позволили сформировать представления о физико-химических и структурных процессах в

упрочненных стеклах.

**В третьей главе** приведены результаты выполненных исследований и их анализ. На основании проведенного литературного анализа и патентных исследований в качестве объектов были выбраны два материала, формирующих токопроводящее покрытие (оксидные пленки из олова и индия, допированного оксидом олова) представлены способы подбора режимов для формирования как равномерных, так и градиентных покрытий (формирование на стекле электропроводящего покрытия с переменным удельным поверхностным сопротивлением) с применением ассистирования ионным источником (воздействий коллимированного пучка ионов аргона на поверхность покрытия). Подробно расписан метод формирования зоны обогрева и изоляции края на стекле с ТПП. Особенно следует отметить применение метода удаления токопроводящего покрытия с использованием иттербиевого импульсного волоконного лазерного комплекса, который не только повысил скорость травления и улучшил экологическую безопасность процесса, но и способствовал залечиванию дефектов в краевой зоне (прочность изделия становится несколько выше, чем у исходного стекла с покрытием). Выбор порошковых материалов на основе алюминия и цинка (марки А-20-10) и меди и цинка (марки С-03-10) для формирования токоведущих шинок показал, что проводимость медно-алюминиевых шинок в несколько раз выше, чем у силикатно-серебряных (традиционных), а использование в качестве проводников меди и алюминия более экономично в сравнении с серебром. Сам метод нанесения шинки не оказывает существенного влияния на прочность стекла. Полученные результаты подтверждают правильность постановки и решения задач диссертационного исследования. Отдельно стоит отметить проведение диссертантом опробования методик и разработки технологии нанесения токопроводящих шин на органическое стекло гальваническим способом и исследование их характеристик. Оценка адгезии медной шинки к стеклу в соответствии с ГОСТ 15140-78 (Таблица 2) показала хороший результат Балл 1<sub>1</sub> (края надрезов гладкие). На этом основании автор делает заключение, что подобные подходы могут быть успешно реализованы при оптимизации технологической линии и позволят наладить выпуск изделий с повышенными эксплуатационными характеристиками. Таким образом, выбранный автором подход к разработке и внедрению 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, показывает свою состоятельность, поскольку все обозначенные цели были достигнуты. Также стоит отметить стремление автора к реализации достигнутых результатов в больших масштабах и поиску их прикладного назначения, что положительно характеризует работу в целом.

**В заключении** достаточно емко сформулированы основные результаты исследования и их значимость для современного уровня разработки и производства изделий конструкционной оптики. Выдвинуты рекомендации по использованию теоретических и практических результатов диссертационного исследования. Обозначены перспективы дальнейшего развития предложенного подхода к разработке и изготовлению изделий.

**Научная новизна результатов диссертационной работы** заключается в том, что установлено, что равномерный обогрев поверхности сложнопрофильных элементов остекления зависит от эффективной толщины и электросопротивления покрытия, при этом для криволинейных изделий толщина покрытия должна быть градиентной. Определены условия формирования одномерного и градиентного покрытий оксида индия, допированного оксидом олова, методом магнетронного напыления на поверхности силикатного стекла, обеспечивающие равномерное распределение температурного поля на поверхности изделия. Установлено влияние параметров лазерной обработки на абляцию различных типов токопроводящего покрытия с поверхности листового стекла. Выявлено, что при лазерном воздействии происходит одновременное термическое «залечивание» дефектов в поверхностном слое стекла, что обеспечивает повышение прочностных характеристик стекла. Установлено, что процесс газодинамического напыления медно-алюминиевых токопроводящих шинок не оказывает влияния на состояние электрообогреваемой поверхности и прочностные характеристики стекла, а электропроводность медно-алюминиевых шинок в пять раз выше, чем силикатно-меребряных, нанесенных традиционным методом; при этом достигается высокая адгезионная прочность контакта шинки с покрытием.

Работа имеет большую **практическую значимость**. В частности, разработана технология нанесения токопроводящих шинок на органические криволинейные стекла гальваническим методом, что позволяет создавать

облегченные электрообогреваемые композиции остекления транспортных средств (оформлена технологическая инструкция 596.25000.1629 АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина). Также по результатам проведенных работ в период 2010 – 2019 гг. получены 6 патентов на изобретения Российской Федерации.

**Значимость для науки и производства** результатов, представленных в диссертационной работе, заключается в разработке режимов магнетронного напыления одномерных и градиентных токопроводящих покрытий на основе оксида индия, допированного оксидом олова, с удельным поверхностным сопротивлением от 10 до 100 Ом/м на плоскую и криволинейную поверхности стекла, разработке новой высокоэффективной технологии локального снятия токопроводящих покрытий для выделения зоны электрообогрева и изоляции края изделия из стекла с токопроводящим покрытием при помощи лазерного технологического комплекса, позволяющей в десятки раз повысить производительность труда и исключить вредное экологическое воздействие на окружающую среду, а также в разработке составов и режимов «холодного» газодинамического нанесения медно-алюминиевых токопроводящих шин на поверхность силикатного стекла, позволяющих осуществлять крупногабаритное остекление с увеличенной площадью обогрева и повысить производительность труда. Значимость полученных результатов подтверждается их практическим использованием для организации промышленного производства сложнопрофильных электрообогреваемых изделий остекления, разработки и серийного производства изделий для локомотивов, подвижных составов (электровозы типа ЭП20, тепловозы типа 2ТЭ25МК, рельсовые автобусы типа РА-3, электропоезда типа ЭП2Д), вагонов метро типа «Москва-2020», судовых рубок типа РВ-300, отвечающих всем требованиям, предъявляемым к изделиям, что подтверждено соответствующими Сертификатами соответствия «Регистра сертификации на федеральном железнодорожном транспорте» и Свидетельством о типовом одобрении «Изделия остекления» Российского морского регистра судоходства.

**Достоверность результатов и обоснованность выводов** подтверждается согласование полученных закономерностей с основными теоретическими положениями и литературными данными, применением современного оборудования, методов исследований и математической статистики для обработки результатов экспериментов.

**Основные результаты** диссертации отражены в опубликованных работах. Непосредственно по теме диссертации опубликовано 18 работ, в том числе в 3-х публикациях в изданиях, включенных в перечень ВАК, и 6-и патентах на изобретение. Материалы исследования неоднократно докладывались на профильных международных и российских конференциях. Автореферат и перечень публикаций в полной мере отражают основное содержание диссертации.

Однако к содержанию диссертационной работы и представлению результатов имеются следующие **замечания**:

1. На основании каких количественных параметров делается заключение о перспективности метода модифицирования покрытия из диоксида олова бомбардировкой ионами аргона?

2. Существует ли корреляция между сечением токопроводящей шинки и её длиной? Проводилась ли такая оценка?

3. В диссертации стоило бы представить материалы по различным склеивающим материалам (полиуретановые пленки, термоотверждаемые полимеры и т.п.), применяемым также, как и ПВБ, при изготовлении изделий конструкционной оптики.

4. Чем может быть обусловлено снижение верхних диапазонов (максимальных) значений прочности при статическом изгибе образцов стекол после удаления покрытий методами лазерной обработки и химического травления?

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования Петрачкова Д.Н. Считаю диссертацию качественной научно-квалификационной работой. Диссертант в достаточной мере освоил основные методы работы в области разработки изделий из стекла. Проведенные исследования и полученные результаты отличаются как научной новизной, так и практической значимостью и имеют несомненный прикладной интерес, который может и должен быть реализован.

### **Заключение**

Диссертация Петрачкова Д.Н. на тему «Сложнопрофильные изделия из силикатного стекла с токопроводящим покрытием» является законченным, оригинальным научным исследованием, посвященным разработке и изготовлению изделий из стекол.

Таким образом, диссертационная работа Петрачкова Дмитрия Николаевича, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует паспорту заявленной специальности 2.6.14 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Считаю, что по своей актуальности, научной новизне, теоретический и практической значимости, достоверности результатов и обоснованности выводов диссертация «Сложнопрофильные изделия из силикатного стекла с токопроводящим покрытием» удовлетворяет всем 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:**

Начальник научно-исследовательского  
отделения НИЦ «Курчатовский  
институт» - ВИАМ, кандидат  
технических наук

Чайникова Анна  
Сергеевна



(подпись)

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ)

Адрес: 105005 г. Москва, ул. Радио, д.17

E-mail: chainikova@viam.ru

Телефон: 8-499-263-85-04

Подпись Чайниковой Анны Сергеевны удостоверяю

Ученый секретарь «Ученого совета»,

к.т.н., доцент



Свириденко  
Данила Сергеевич