

В диссертационный совет Д 212.204.12  
при Российском химико-технологическом университете  
им. Д.И. Менделеева

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Токаря Сергея Вячеславовича на тему:

"Разработка композиции на основе литиевого жидкого стекла и  
сложнооксидных функциональных наполнителей для терморегулирующего  
покрытия класса "солнечный отражатель", представленную на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических  
материалов

На отзыв представлена диссертация объемом 163 страницы машинописного текста, содержащая 45 рисунков, 53 таблицы, библиографию из 183 наименований и автореферат.

*Актуальность работы*

Работа связана с созданием эффективных терморегулирующих покрытий для космических аппаратов с длительным сроком активного существования, в том числе функционирующих на геостационарной орбите. Для пассивных систем терморегулирования, представляющих собой соответствующие покрытия на радиаторах и охлаждаемых приборах, большое значение имеют коэффициенты поглощения солнечного излучения, коэффициенты излучения и высокая стойкость к воздействию факторов космического пространства. Рост требований к длительности эксплуатации космических аппаратов обуславливает актуальность поиска и исследования эффективных функциональных материалов для радиационностойких покрытий.

Вышеизложенное свидетельствует об актуальности выполненного исследования с точки зрения выбора объектов и использованных методов, то есть работа в этом отношении соответствует требованиям ВАК к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата наук.

Цель рассматриваемой диссертационной работы состояла в разработке жидкостекольной композиции на основе литиевого жидкого стекла и сложно-

оксидных функциональных наполнителей для терморегулирующего радиационностойкого покрытия космических аппаратов со сроком активного существования не менее 15 лет.

Диссертантом успешно выполнены поставленные в работе задачи, связанные с изучением стойкости щелочных силикатных связующих к протонному излучению, получением оптических характеристик различных наполнителей, разработкой жидкостекольной композиции, включающих алюминат и сульфат бария, с увеличенной радиационной стойкостью, испытанием и внедрением разработанной композиции.

### *Научная новизна работы*

Впервые определены оптические характеристики ряда силикатов щелочных металлов, а также установлены закономерности их изменения при воздействии протонного излучения. Получены справочные данные по коэффициенту поглощения солнечного излучения до и после воздействия протонного излучения для 63 соединений, принадлежащих к различным классам веществ.

*Теоретическая значимость работы* заключается в получении новых знаний о воздействии протонного излучения на неорганические вещества.

### *Практическая значимость работы*

Разработана жидкостекольная композиция ЭКОМ-ЖС-2М (ТУ № 2316-513-56897835-2011) и технология получения терморегулирующего покрытия класса «солнечный отражатель» на ее основе (ТИ № 932-0654-85-2011).

В результате успешного проведения наземных испытаний, имитирующих факторы космического пространства, разработанного терморегулирующего покрытия ЭКОМ-ЖС-2М, покрытие внедрено в производство ПАО "РКК "Энергия". Получены заключение к летным испытаниям № 084 1/160-5 и допуск к летным испытаниям № 1ПО-4/755-490 покрытия на основе разработанной жидкостекольной композиции ЭКОМ-ЖС-2М в составе транспортно-грузового корабля (ТГК) "Прогресс МС-02". Получены данные по сохранности адгезионных, оптических и антistатических свойств разработанного покрытия после проведения натурных испытаний на международной космической станции (МКС-40 – МКС-46).

*Достоверность полученных результатов* подтверждается использованием стандартизованных методов определения технологических параметров, применением современных инструментальных методов (сканирующая электронная микроскопия, элементный анализ, конфокальная микроскопия, ИК-спектроскопия и др.), а также публикацией результатов.

### *Общая характеристика диссертационной работы*

Работа Сергея Вячеславовича Токаря состоит из введения, 5 глав, выводов, списка использованных литературных источников и приложений.

В литературном обзоре автор подобрал и проанализировал источники, имеющиеся по терморегулирующим покрытиям для космических аппаратов, уделив особое внимание связующим и пигментам, используемым в покрытиях.

Исходные реагенты, синтез порошка  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  и нанесение покрытий охарактеризованы в главе 2. Здесь же описаны используемые методики исследования композиций и покрытий.

В главе 3 изложены данные по исследованию оптических характеристик, в том числе после воздействия протонного облучения, по щелочным силикатным связующим, сложнооксидным наполнителям и добавкам. На основании систематических работ по определению оптических характеристик обосновано сделан выбор в пользу монаалюмината бария и сульфата бария. Выявлены функциональные добавки, обеспечивающие жизнеспособность композиции и адгезионную прочность покрытий. Установлено, что наилучшими свойствами для достижения поставленной цели обладает литиевое жидкое стекло.

Глава 4 посвящена разработке состава и технологическим особенностям нанесения жидкостекольной композиции ЭКОМ-ЖС-2М для получения покрытий класса "солнечный отражатель" с улучшенными оптическими характеристиками, увеличенной радиационной стойкостью.

В главе 5 приведены данные по эксплуатации терморегулирующих покрытий на основе разработанной жидкостекольной композиции в составе корабля "Прогресс МС-02". В результате совместных с ПАО "РКК "Энергия" испытаний при длительном экспонировании (1 год 5,5 месяцев) в составе съемной кассеты на внешней поверхности международной космической станции

установлено, что покрытие сохраняет свои адгезионные, оптические и электрофизические свойства. Покрытие на основе композиции ЭКОМ-ЖС-2М рекомендовано для перспективных, разрабатываемых предприятиями космической отрасли изделий, имеющих длительные сроки эксплуатации в космическом пространстве.

Таким образом, в диссертации получены результаты, имеющие существенное значение в области космического материаловедения, которые реально применимы на практике.

Представленные в диссертационной работе данные обладают новизной и являются оригинальными. Полученные результаты соответствуют поставленной цели и задачам, а тема диссертации соответствует заявленной специальности.

Работа С.В. Токаря хорошо оформлена, содержит большое количество фактического и иллюстративного материала. Основные результаты работы (выводы) четко сформулированы автором. Текст диссертации и автореферата изложен хорошим научным языком. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. По материалам диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК и 3 патента РФ.

#### *Замечания по диссертационной работе:*

1. В табл. 3.7 для вещества  $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  и 3.17 для  $\text{Li}_2\text{SiF}_6$  в отличие от других соединений приведено по 2 значения характеристик без комментария. В табл. 3.13 для соединения  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  не отмечено, к какой форме – андалузиту, кианиту или силлиманиту – относятся полученные оптические свойства.

2. Вызывает сомнение утверждение о том, что при испарении воды из литиевого жидкого стекла формируются ортосиликаты (ионы  $\text{HSiO}_4^{3-}$  и  $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$ , соединение  $\text{Li}_4\text{SiO}_4 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ ). Доказательств этого предположения не приведено. Скорее всего, при нагревании идет полимеризация силикат-аниона.

3. Есть неудачные выражения и опечатки в тексте (рентгеновская плотность обозначена буквой  $p$ , а не  $\rho$ ; запятая поставлена после слова *где*, а не

перед ним; в табл. 3.1 размерность плотности указана в  $\text{г}/\text{см}^2$ ; опечатки в выражении *в течение* и некоторые др.). Не по правилам оформлен перенос таблицы 2.2. На с. 81 неудачно выражение "Установлено, что сульфат бария отличается высокой степенью белизны...". Это хорошо известный факт.

Вместе с тем указанные замечания не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертация Сергея Вячеславовича Токаря представляет собой завершенное исследование, большое по объему и тщательно выполненное, направленное на решение актуальной технологической задачи.

### **Заключение по работе**

Диссертационная работа Сергея Вячеславовича Токаря "Разработка композиции на основе литиевого жидкого стекла и сложнооксидных функциональных наполнителей для терморегулирующего покрытия класса "солнечный отражатель" является научно-квалификационной работой на актуальную тему, в которой прослеживается логика и путь создания целевого материала с опорой на теоретические представления. Работа имеет существенное значение для космического материаловедения в области использования силикатных и оксидных материалов. Сформулированные выводы по работе соответствуют полученным результатам.

Результаты диссертационной работы были доложены на международных и всероссийских конференциях, а также опубликованы в российских журналах. Число публикаций автора соответствует критериям п. 13 раздела II «Положения о порядке присуждения ученых степеней» в редакции, утвержденной Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. (3 публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК, из 10 по теме диссертации). Автореферат и опубликованные статьи в полной мере отражают содержание диссертации.

По своей актуальности, научной новизне и практической значимости, а также личному вкладу автора диссертационная работа «Разработка композиции на основе литиевого жидкого стекла и сложнооксидных функциональных наполнителей для терморегулирующего покрытия класса «солнечный отражатель»» полностью соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке

присуждения учёных степеней» в редакции, утвержденной Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям. В диссертации изложены **новые научно-обоснованные технологические решения**, имеющие существенное значение для развития страны, а именно разработка жидкостекольной композиции для терморегулирующего покрытия класса «солнечный отражатель» с увеличенной радиационной стойкостью, применяемого в ракетно-космической технике.

Диссертация логично построена, ее структура и содержание соответствует целям исследования и паспорту заявленной специальности 05.17.11 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, охватывающей проблемы создания новых и совершенствования существующих технологий для разработки и производства тугоплавких и неметаллических материалов, включающая проблемы и задачи, связанные с разработкой физико-химических принципов технологии материалов, научные исследования физико-химических свойств материалов и изделий, в диссертационной работе:

Разработан новый состав и методика изготовления жидкостекольной композиции ЭКОМ-ЖС-2М для получения покрытий класса «солнечный отражатель» с улучшенными характеристиками (область исследования п.1.3 «Неорганические вяжущие вещества и изделия. Получение исходных материалов, их смешивание; синтез фаз, обладающих вяжущими свойствами; процессы синтеза и твердения вяжущих материалов; способы регулирования их строительно-технических свойств»).

Разработана методика получения на основе жидкостекольной композиции ЭКОМ-ЖС-2М терморегулирующего покрытия класса «солнечный отражатель» с хорошими адгезионными и оптическими характеристиками (область исследования п.1.4 «Композиционные материалы на основе СиТНМ, в том числе в сочетании с металлами и органическими высокомолекулярными соединениями. Получение исходных материалов; смешивание компонентов; формирование структуры на стадии изготовления заготовок и их последующего упрочнения; обработка материалов и изделий для придания требуемых свойств»).

Работа отвечает требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней" (утверждено постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 в ред. Постановления Правительства РФ от 21.04.2016 № 335), выдвигаемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Сергей Вячеславович Токарь, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Официальный оппонент, профессор кафедры технологии керамики и наноматериалов ФГБОУ ВО "Ивановский государственный химико-технологический университет, доктор технических наук

 Н.Ф. Косенко

11.07.2019 г.

**Косенко Надежда Федоровна**

Адрес: 153000, г. Иваново, Шереметевский просп., 7

Тел.: 8(4932)30-73-46, д. 2-41. Факс: 8(4932)30-18-14.

e-mail: [httnism@isuct.ru](mailto:httnism@isuct.ru), [nfkosenko@gmail.com](mailto:nfkosenko@gmail.com)

Веб-сайт: <http://isuct.ru>

Подпись профессора кафедры технологии керамики и наноматериалов ФГБОУ ВО "Ивановский государственный химико-технологический университет, доктора технических наук Н.Ф. Косенко заверяю:

Проректор по научной работе



Марфин Ю.С.