

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
«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.

Диссертация Токаря Сергея Вячеславовича посвящена актуальным
вопросам космического материаловедения, в частности, созданию
терморегулирующих покрытий и исследованию их функциональных свойств.
Активное освоение космического пространства побуждает разработчиков к
созданию новых терморегулирующих покрытий с длительным существованием
в космическом пространстве. Для композиций перспективно применение
жидких стекол, неорганических пигментов и функциональных добавок.
Актуальным является исследования эффективных пигментов,
функциональных наполнителей и связующих необходимых при создании
композиций для получения радиационностойких покрытий класса «солнечный
отражатель».

В диссертации применен систематический подход в создании
жидкостекольной композиции и терморегулирующего покрытия на ее основе.
Впервые определены оптические характеристики силикатов щелочных
металлов состава $R_2O \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$ (где R-Na⁺, K⁺, Li⁺, m-силикатный модуль,
n-водосодержание), в том числе при воздействии протонного облучения. На
основании систематических исследований оптических характеристик получены
справочные данные по коэффициенту поглощения солнечного излучения a_s , до
и после воздействия протонного облучения для 63 соединений.

Научные положения, касающиеся полученных данных при исследовании свойств разработанного покрытия подтверждены экспериментальными результатами и натурными испытаниями на МКС. Достоверность результатов обеспечивается применением современных методов физико-химического анализа, таких как сканирующая электронная микроскопия, элементный анализ, измерение инфракрасных (ИК) спектров, рентгенофазового анализа, измерение спектров диффузного отражения, измерение нормальной степени черноты ϵ , измерение коэффициента отражения солнечного излучения, испытания на комплексное воздействие ФКП (специализированная установка УВ-1/2), а также определение технологических характеристик композиций и покрытий на их основе в соответствии с ГОСТами. Исследования проведены с использованием оборудования ведущих зарубежных производителей. Подтверждением достоверности и новизны полученных в работе результатов являются публикации в рецензируемых научных журналах.

Практическая значимость выполненной Токарем Сергеем Вячеславовичем диссертации заключается во внедрении жидкостекольной композиции ЭКОМ-ЖС-2М на транспортно-грузовой корабль «Прогресс МС-02», и получении данных по сохранности адгезионных, оптических и антистатических свойств разработанного покрытия после проведения натурных испытаний на борту МКС.

Результаты диссертационной работы были доложены на международных и всероссийских конференциях, посвящённых космическому материаловедению и опубликованы в российских журналах «Стекло и керамика», «Техника и технология силикатов», «Конструкции из композиционных материалов» которые входят в системы цитирования Web of Science, Scopus и Chemical Abstracts Service.

Диссертация Токаря С.В. состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы и 5 приложений. Общий объем диссертации – 163 страницы,

включая 45 рисунков, 53 таблицы и библиографию, содержащую 183 наименования.

Во введении автор обосновывает актуальность темы диссертационной работы приводит научную новизну, практическую значимость работы, излагает цели и задачи диссертационной работы, описывает объекты и методики исследований. Также в этом разделе приведены сведения о личном вкладе автора, информация о соответствии содержания работы паспорту специальности 05.17.11 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, а также приведены сведения об апробации работы.

Первая глава посвящена описанию получения и особенностям эксплуатации терморегулирующих покрытий, наносимых на внешние поверхности космических аппаратов. Рассмотрены основные виды связующих и функциональных наполнителей в композициях для терморегулирующих покрытий класса «солнечный отражатель» и устойчивость их спектральных характеристик к воздействию факторов космического пространства.

Во второй главе приведены данные по использованным материалам и реактивам, оборудованию, методикам нанесения терморегулирующих покрытий, методам исследования неорганических связующих, пигментов, жидкостекольных композиций и терморегулирующих покрытий.

Третья глава содержит результаты исследования неорганических связующих на основе силикатов щелочных металлов состава $R_2O \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$ (где $R-Na^+, K^+, Li^+$, m -силикатный модуль, n -водосодержание). Показано, что наилучшими характеристиками обладает литиевое жидкое стекло. Проведенные исследования по определению спектральных характеристик (коэффициент поглощения солнечного излучения α_s) до и после воздействия протонного облучения для сложнооксидных соединений позволяют получить справочные данные по коэффициенту поглощения солнечного излучения α_s и его изменению при воздействии протонного облучения. Установлено, что

BaSO_4 и BaAl_2O_4 оптимально сочетают низкий коэффициент поглощения солнечного излучения и высокую стойкость к воздействию радиации, что определяет их перспективность при создании терморегулирующих покрытий.

В четвертой главе представлены данные по исследованию технологических, функциональных свойств композиций и покрытий на их основе при варьировании компонентного состава и воздействии факторов космического пространства. Разработанные покрытия после облучения сохраняют низкое значение коэффициента поглощения, который определяет их высокую радиационную стойкость, причем композиция КМ-4, которой присвоена марка ЭКОМ-ЖС-2М, обладает наилучшей стойкостью к воздействию факторов космического пространства. Результаты прогнозирования изменения оптических свойств при протонном облучении показало, что у разработанного покрытия на основе жидкостекольной композиции ЭКОМ-ЖС-2М стабильность коэффициента поглощения a_s существенно лучше по сравнению с применяющимися в настоящее время покрытиями.

Пятая глава описывает результаты наземных испытаний, по оценке эксплуатационных характеристик покрытий. Показаны результаты совместного с ПАО «РКК «Энергия» исследования эксплуатационных характеристик терморегулирующих покрытий на основе жидкостекольной композиции ЭКОМ-ЖС-2М и динамики их изменения в процессе длительного орбитального полета. Полученные данные показывают, что разработанное покрытие не претерпевает существенных изменений, что говорит о его эффективности и радиационной стойкости.

Все вышесказанное позволяет заключить, что полученные автором результаты и выводы обладают **новизной**:

- впервые определены оптические характеристики силикатов щелочных металлов состава $R_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (где $R-\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Li}^+$, m -силикатный модуль, n -водосодержание), в том числе при воздействии протонного облучения.

Установлено, что коэффициент поглощения солнечного излучения (α_s) снижается в ряду неорганических связующих на основе натриевого ($\alpha_s=0,322$), калиевого ($\alpha_s=0,267$), литиевого ($\alpha_s=0,205$) жидкых стекол. При воздействии протонного облучения (флюенс= 1×10^{16} см $^{-2}$) коэффициент поглощения снижается с различной интенсивностью для натриевого ($\alpha_s=0,424$), калиевого ($\alpha_s=0,350$), литиевого ($\alpha_s=0,287$) жидкого стекла. Наилучшими показателями по величине коэффициента поглощения и его стойкости обладает литиевое жидкое стекло.

- впервые на основании систематических исследований оптических характеристик получены справочные данные по коэффициенту поглощения солнечного излучения α_s , до и после воздействия протонного облучения для 63 соединений: оксидов, гидроксидов, карбонатов, алюминатов, фторидов, вольфраматов, сульфатов, силикатов, фосфатов, боратов, молибдатов, комплексных фторидов.

Основные замечания и вопросы по работе:

1. В работе, к сожалению, недостаточно полно исследован процесс образования покрытия (фазовый состав покрытия) в результате твердения жидкостекольной композиции, что позволило бы расширить понимание механизма твердения литиевого жидкого стекла.

2. Текст диссертации существенно отягощен принятыми сокращениями типа ЛКВ, ОМП, РПМ, ТРП и др. Несмотря на наличие в диссертационной работе перечня сокращений, это осложняет восприятие материала. Также диссертация местами напоминает технический отчет, где декларируются полученные результаты без объяснения закономерности состав-структурно-свойства. К примеру, в таблице 3.6 приведены оптические характеристики α_s оксидов. Неясно, почему автор выбрал именно этот ряд оксидов. Далее автор просто констатирует полученные результаты, но никак их не комментирует (с чем связаны такие значения, можно ли было их предсказать без измерений опираясь на кристаллическую решетку или радиус катионов металлов).

3. Замечания по оформлению работы. Подписи к рисункам оформлены не в соответствии с ГОСТ 2.105-95 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Общие требования к текстовым документам. Библиографические ссылки выполнены не в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 СИБИД. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления. В тексте диссертации не всегда удачно представлены рисунки: на рис. 4.7, с. 94 практически неразличимы экспериментальные точки, на которых построен график зависимости коэффициента поглощения.

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации. Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы к практическому использованию при разработке новых перспективных изделий для ракетно-космической промышленности с длительным ресурсом использования.

Работа Токаря Сергея Вячеславовича «Разработка композиций на основе литиевого жидкого стекла и сложнооксидных функциональных наполнителей для терморегулирующего покрытия класса «солнечный отражатель»» представляет собой завершенное научное исследование на актуальную тему. Сформулированные выводы по работе адекватны 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, индексируемых в системах Web of Science, Scopus и Chemical Abstracts Service, из 10 по теме диссертации). Автореферат и опубликованные статьи в полной мере отражают содержание диссертации.

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»).

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» (утверждено постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 в ред. Постановления Правительства РФ № 335 от 21.04.2016), 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. В связи с изложенным, автор работы Токарь Сергей Вячеславович, несомненно, заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Официальный оппонент:

с.н.с., к.т.н. лаборатории физико-химического анализа керамических материалов (№33) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН

Лысенков А.С.

16.07.19

Подпись Лысенкова Антона Сергеевича удостоверяю:

Учёный секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, к.т.н.



Фомина О.Н.

Контактные данные:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН
119334, Россия, Москва, Ленинский проспект, д. 49,
Тел: (495)114-54-18, email: alysenkov@imet.ac.ru