

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель директора
по научной работе

Института физики прочности и
материаловедения Сибирского
отделения Российской академии наук,
профессор РАН

С.В. Панин

«22» июля 2019 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук 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.

1. Актуальность темы диссертационной работы.

Диссертационная работа Токаря Сергея Вячеславовича посвящена актуальным вопросам создания новых радиационностойких терморегулирующих покрытий и исследованию их технологических и защитных свойств. Активное освоение космического пространства стимулирует работы по созданию новых функциональных покрытий, работоспособных в космическом пространстве в течении многих лет. С этой точки зрения при создании композиций для терморегулирующих покрытий жидкие стекла, неорганические пигменты и функциональные добавки являются безусловно перспективными. Весьма актуальными являются исследования эффективных функциональных материалов для создания на их основе композиций для получения радиационностойких покрытий класса «солнечный отражатель».

В диссертационной работе использован систематический подход при создании жидкостекольной композиции для терморегулирующего покрытия.

2. Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

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. Установлено, что величина коэффициента поглощения солнечного излучения (α_s) уменьшается 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= $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$) коэффициент поглощения также понижается, но с отличающейся 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.

3. Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов.

В результате выполнения работы автором 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, разработанное терморегулирующее покрытие ЭКОМ-ЖС-2М внедрено в производство ПАО «РКК «Энергия». Получены заключение к летным испытаниям № 084 1/160-5 и допуск к летным испытаниям № 1ПО-4/755-490ТРП покрытия на основе разработанной жидкостекольной композиции ЭКОМ-ЖС-2М в составе транспортно-грузового корабля «Прогресс МС-02». Получены данные по сохранности адгезионных, оптических и антистатических свойств разработанного покрытия после проведения натурных испытаний на международной космической станции (МКС-40 – МКС-46).

4. Общая характеристика работы.

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 библиографии, содержащей 183 наименования.

Во введении автор обосновывает актуальность темы диссертационной работы, представляет научную новизну и практическую значимость работы, формулирует цели и задачи диссертационной работы, описывает объекты и методики

исследований. В этом же разделе приводятся сведения о личном вкладе автора, аprobации работы и информация о соответствии содержания работы паспорту специальности 05.17.11 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, а также приведены сведения об аprobации работы.

В первой главе автор описывает проблемы получения и особенности эксплуатации терморегулирующих покрытий для космических аппаратов. Автор отмечает основные виды связующих и функциональных наполнителей в композициях для терморегулирующих покрытий класса «солнечный отражатель» и устойчивость их спектральных характеристик к воздействию факторов космического пространства. Также автором рассматривается перспективность использования жидкостекольных композиций для радиационностойких покрытий.

Вторая глава содержит данные о применяемых материалах и реактивах, технологическом и научном оборудовании, методиках нанесения терморегулирующих покрытий, методах исследования неорганических связующих, функциональных добавок, жидкостекольных композиций и терморегулирующих покрытий.

В третьей главе приведены 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). Установлено, что наилучшими характеристиками среди изучаемых неорганических связующих обладает литиевое жидкое стекло. С помощью систематических исследований по определению спектральных характеристик (коэффициент поглощения солнечного излучения α_s) до и после воздействия протонного облучения для сложнооксидных соединений (оксидов, гидроксидов, карбонатов, алюминатов, фторидов, вольфраматов, сульфатов, силикатов, фосфатов, боратов, молибдатов, комплексных фторидов), получены справочные данные по коэффициенту поглощения солнечного излучения α_s и его изменению при воздействии протонного облучения. Установлено, что моноалюминат бария и сульфат бария оптимально сочетают низкий коэффициент поглощения солнечного излучения α_s ($BaSO_4$)=0,075, α_s ($BaAl_2O_4$)=0,080 и высокую стойкость к протонному облучению, благодаря чему являются перспективными при создании покрытий класса «солнечный отражатель».

Четвертая глава содержит данные по исследованию технологических, функциональных свойств композиций и покрытий на их основе при варьировании компонентного состава и воздействии факторов космического пространства.

Изучено детально четыре опытных состава (КМ-1÷КМ-4). Показано, что разработанные композиции технологичны, хорошо наносятся методом пневматического распыления, имеют жизнеспособность 6 месяцев и после

отверждения формируют равномерную белую плёнку без трещин и сколов. Определены исходные оптические, электрофизические и адгезионные свойства покрытий КМ-1, КМ-2, КМ-3, КМ-4.

После облучения покрытия сохраняют высокую степень белизны, что свидетельствует о высокой радиационной стойкости разработанных композиций. Наилучшей стойкостью к воздействию факторов космического пространства обладает композиция КМ-4, которой присвоена марка ЭКОМ-ЖС-2М. Для оценки радиационной стойкости разработанного покрытия проведены комплексные испытания на стойкость к воздействию ФКП и прогнозирование деградации оптических характеристик при имитации эксплуатации на геостационарной орбите (ГСО) в течении 15 лет. По результатам проведенных исследований и прогнозирования изменения оптических свойств установлено, что стабильность коэффициента поглощения α_s существенно лучше у разработанного покрытия на основе жидкостекольной композиции ЭКОМ-ЖС-2М.

В пятой главе приведены результаты наземных испытаний по оценке эксплуатационных характеристик, на основе которых был получен допуск к летным испытаниям, а также результаты исследования эксплуатационных характеристик ТРП на основе жидкостекольной композиции ЭКОМ-ЖС-2М и динамики их изменения в процессе длительного орбитального полета.

5. Основные замечания и вопросы по работе

1. В работе при исследовании жидкостекольных композиций типа КМ (разд.4.2) были проведены исследования по воздействию знакопеременных температур, а при изучении неорганических связующих на основе жидких стекол (разд. 3.1.) данное исследование не проведено, хотя именно связующее вносит основной вклад в адгезионную прочность покрытия при термоциклировании.

2. В тексте диссертации не указано, с какой целью в таблице 3.17 «Стойкость оптических характеристик....» приведены данные по стойкости применяемого в настоящее время покрытия К-208 на основе кварцевого стекла.

3. В тексте диссертации имеются к сожалению стилистические неточности и опечатки, например: с. 49, 10-я строка снизу, вместо слова «упаковке» написано «установке»; с. 52 табл.2.4 - не полностью напечатано слово «отапливаемом»; с. 55 формула 7 в знаменателе не прописана величина « h »; с.56 табл. 3.1 величина плотности выражена в неверных единицах $г/см^2$; с.72 табл. 3.18 не приведены единицы измерений межплоскостных расстояний d_{hkl} ; с.74 рис. 3.5 ошибочно написано «дифузионного отражения» вместо «диффузного»; с. 93–94 рис. 4.4–4.7 на построенных кривых для экспериментальных точек коэффициента поглощения не

указанны доверительные интервалы, что осложняет сравнение полученных зависимостей $\alpha_s(\Phi)$.

Указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Токаря С.В. Работа выполнена на высоком научном уровне, логично и понятно изложена, рисунки и таблицы аккуратно оформлены, автореферат и основные публикации отражают суть работы.

6. Заключение о соответствии диссертационной работы требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.13 г. № 842 (далее – Положение), с учетом соответствия формуле специальности 05.17.11Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Диссертация Токаря Сергея Вячеславовича «Разработка композиции на основе литиевого жидкого стекла и сложнооксидных функциональных наполнителей для терморегулирующего покрытия класса «солнечный отражатель»» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу на актуальную тему. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и в соответствии с п. 9 раздела II Положения и в ней 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.

Рекомендовать практическое применение результатов работы Токаря С.В. в следующих организациях Российской Федерации:

1. Применение технологии изготовления жидкостекольной композиции ЭКОМ-ЖС-2М в АО «Композит».

2. Применение радиационностойкого покрытий класса «солнечный отражатель» на основе жидкостекольной композиции ЭКОМ-ЖС-2М на АО «НПО им. С.А. Лавочкина», АО «ИСС им. М.Ф. Решетнева», ПАО «РКК «Энергия», АО «Российские космические системы» и др.

3. Применение радиационностойких покрытий на основе жидкостекольной композиции ЭКОМ-ЖС-2М в разработке и производстве перспективных изделий ракетно-космической техники в АО «Красная звезда» и других предприятиях промышленности.

Диссертационная работа обладает внутренним единством, логично построена, содержит новые научные результаты и положения, ее структура и содержание соответствует заявленным целям исследования. Достоверность полученных результатов и положений подтверждена большим объемом проведенных

исследований с использованием взаимодополняющих современных методов, а также применением при обработке и интерпретации полученных данных подходов, принятых в современной мировой научной практике. Основные научные результаты диссертации прошли апробацию и были представлены на российских и международных конференциях, а также опубликованы в отечественных рецензируемых научных изданиях. Число публикаций автора соответствует критериям п. 13 раздела II Положения. Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации.

Таким образом, по своей актуальности, научной новизне и практической значимости, а также личному вкладу автора представленная диссертационная работа «Разработка композиции на основе литиевого жидкого стекла и сложнооксидных функциональных наполнителей для терморегулирующего покрытия класса «солнечный отражатель»» полностью отвечает требованиям раздела II Положения, а по формуле и области исследования соответствует специальности 05.17.11 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

В соответствии с формулой 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 высокими 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»).

В связи с изложенным, считаем, что диссертационная работа на тему

«Разработка композиции на основе литиевого жидкого стекла и сложнооксидных функциональных наполнителей для терморегулирующего покрытия класса «солнечный отражатель»», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов полностью соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 в ред. Постановления Правительства РФ № 335 от 21.04.2016), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Токарь Сергей Вячеславович, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Диссертация и автореферат Токаря С.В. «Разработка композиции на основе литиевого жидкого стекла и сложнооксидных функциональных наполнителей для терморегулирующего покрытия класса «солнечный отражатель»» обсуждены, а отзыв заслушан и утвержден на расширенном научном семинаре лаборатории материаловедения покрытий и нанотехнологий Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (протокол № 6 от 22.07.2019 г.).

Председатель НС,
заведующий лабораторией
материаловедения покрытий
и нанотехнологий,
доктор технических наук

Сергеев Виктор Петрович

Ученый секретарь НС,
научный сотрудник ЛМПиН,
кандидат химических наук

Дорофеева Тамара Ивановна

Почтовый адрес: 634055, город Томск, пр. Академический, д. 2/4

Тел. +7 (3822) 491-881

e-mail: root@ispms.tomsk.ru