

## **О Т З Ы В ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**на диссертационную работу ВИЛКОВА Федора Евгеньевича  
«Разработка композитного радиационно-защитного покрытия для  
радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и  
композиционные материалы**

Диссертационная работа Федора Евгеньевича Вилкова посвящена решению важной практической задачи – разработке средств радиационной защиты радиоэлектронных устройств, находящихся на борту космических аппаратов.

**Актуальность избранной темы** связана с тем, что неблагоприятное воздействие космического излучения и заряженных частиц, присутствующих в околоземном пространстве, способно приводить к деградации свойств отдельных элементов электроники и дестабилизировать ее работу., а решение этой задачи позволяет повысить живучесть и надежность работы радиоэлектронной аппаратуры и рассчитывать на продление ее ресурса на срок до 15 и более лет.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** Подход, применяемый диссертантом, в целом, лежит в русле современных тенденций космического материаловедения, состоящих в использовании для ослабления вредных факторов космического излучения композиционных радиозащитных материалов, наносимых непосредственно на защищаемые поверхности. Полученные в работе результаты подтверждаются данными исследований функциональных, в частности, радиозащитных свойств, предложенных композиционных покрытий, основанными на большом массиве экспериментальных данных диссертанта, полученных с использованием современных физических методов, результатами испытаний, позволившими

использовать предложенные им композиты в опытном производстве бортовой аппаратуры для МКС.

**Достоверность, полученных результатов.** Результаты и положения, выносимые на защиту, сомнений в высокой степени их достоверности у оппонента не вызывают. Они были опубликованы в рецензируемых изданиях, входящих в Перечень ВАК, докладывались и обсуждались на ряде международных и всероссийских конференций; технические решения, предложенные диссертантом, защищены патентом РФ.

**Новизна полученных результатов** связана с разработкой в результате проведенных исследований композиционных двухслойных покрытий на основе модифицированного силиката натрия (жидкого стекла) и наполнителей отдельных слоев, представляющих собой нанопорошки вольфрама и гексагонального нитрида бора, соответственно, оптимальная степень заполнения которыми была определена на основе результатов механических испытаний и фрактального анализа, а также с выполненными в работе исследованиями влияния рентгеновского облучения на микроструктуру и микротвердость композитных покрытий, сравнительным исследованием радиозащитных свойств указанных покрытий и традиционных материалов.

**Теоретическая и практическая значимость полученных результатов** связана с разработкой диссертантом нового радиационно-защитного композитного покрытия, увеличивающего ресурс и надежность работы бортовой радиоэлектроники, и установлении его оптимального состава и технологических параметров получения. Также в работе впервые выполнено комплексное исследование физико-химических и структурно-механических свойств, позволившее регламентировать диапазоны применимости предложенного радиационно-защитного покрытия, изготовить опытную партию композиционного покрытия для защиты приборов одного из модулей МКС и провести ее эксплуатационные испытания. Проведенные

исследования явились также серьезным вкладом в космическое материаловедение радиационно-защитных покрытий, что говорит об их большой ценности для этой относительно новой области научных знаний.

**Оценка содержания диссертации, её завершенность.**

Диссертационная записка Вилкова Ф.Е. состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 103 работ и приложения. В ней 122 стр. текста, 48 рисунков, 32 таблицы.

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы и формулируются цели работы.

**В 1-ой главе** представлен обзор литературы по известным к настоящему времени покрытиям для радиационной защиты и ослаблению влияния неблагоприятных факторов космической среды, приводящих к деградации радиоэлектронной аппаратуры на борту космических аппаратов. Проведен критический обзор известных к настоящему времени композиционных материалов, их составов и технологий получения, как с точки зрения их технологичности, так и экономической обоснованности. На этой основе автором сформулированы основные научные и практические задачи, на решение которых направлена диссертация.

**Во 2-ой главе** наряду с описанием методов исследования, используемых в работе, диссертант решил также ряд задач, связанных с разработкой состава двухслойного композитного покрытия и технологии его синтеза. Им осуществлен: (1) научно-обоснованный выбор состава связующей матрицы на основе жидкого стекла, обеспечивающей стойкость к воздействию атомарного водорода; (2) предложено для поглощения тормозного излучения использовать ультрадисперсный порошок вольфрама, а в качестве внешнего слоя – гексагональный BN, ослабляющий поток первичных частиц и тепловых нейтронов. Диссертантом обоснованы также условия оптимальности состава слоев двухслойного композита по критериям механической прочности, являющейся интегральной характеристикой,

позволяющей оценить степень уплотнения и прочность образующихся в композите связей, и водостойкости, являющейся важной характеристикой для аппаратуры морского базирования..

**В 3-ей главе** представлены результаты изучения микроструктуры, фазового состава, физико-механических характеристик и плотности исследуемых материалов и влияния на них высоких (до 3 МГр) поглощенных доз рентгеновского излучения. Также было определено оптимальное содержание отвердителя, ~ 10-15 % от массы жидкого стекла, при котором водостойкость композита максимальна.

**В 4-ой главе** представлены результаты исследования радиационно-защитных свойств разработанного диссертантом двухслойного композита и представлены результаты по их ослабляющей способности по сравнению с традиционно используемыми материалами (пластины свинца различной толщины в сочетании с алюминиевым сплавом толщиной 2 мм). На основании проведенных экспериментов показано, что покрытие толщиной ~ 1,5 мм позволяет существенно увеличить кратность ослабления высокоэнергетического рентгеновского излучения с энергией до 150 кэВ.

Таким образом, диссертация Ф.Е. Вилкова представляет собой законченное научное исследование. Ее выводы в полном объеме соответствуют поставленным в работе целям разработки композиционного защитного покрытия с высокими радиационно-защитными характеристиками и стойкостью к дестабилизирующему воздействию ионизирующих излучений космического пространства, предназначенного для защиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов.

**Достоинство и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования.**

**К достоинствам и сильным сторонам работы** следует отнести, прежде всего, огромный объем работы, проделанной диссертантом с целью

решения практической задачи разработки радиационно-защитного покрытия. Сюда входят, как тщательно выполненный им анализ известных данных, позволивший наметить главное направление дальнейшей работы, большой объем исследований по отработке предложенной технологии получения защитной композиции и оптимизации ее состава, комплексные исследования структурно-фазового состояния композитов, их физико-химических и радиационно-защитных свойств. Обстоятельность и тщательность, с которой диссертант подошел к решению всех этих задач, и то, что ему удалось это сделать в относительно короткие (первые публикации относятся к 2015 г.), сроки вызывает безусловное уважение.

**К недостаткам следует отнести:**

1. Некоторую бессистемность изложения, характерную для данной работы, когда ее автор стремится ответить на все стоящие перед ним вопросы сразу и решает параллельно сразу несколько абсолютно разных по природе своей задач. К сожалению, если учесть масштаб стоявшей перед ним цели, этот недостаток работы, видимо, был практически неизбежен,
2. Главу 2 диссертации следовало бы, по мнению оппонента, разбить на две – небольшую главу, посвященную традиционным экспериментальным методам исследования, и вторую, бóльшую по объему, посвященную вопросам разработки состава и технологии получения радиационно-защитной композиции. Впрочем, задача отработки оптимального состава и технологии решалась диссертантом постоянно на протяжении всей работы, что говорит об определенной условности такого четкого разделения.
3. Одно из исследований, проведенных диссертантом, связано с изучением микроструктуры композиционного покрытия на поперечном изломе, однако возможная природа и прочность связей используемых наполнителей (вольфрама и нитрида бора) и связующей

матрицы не изучалась, хотя это может быть важно с точки зрения их влияния на срок службы композиционного покрытия.

4. Работа перегружена избыточным количеством таблиц и рисунков, число которых может быть значительно сокращено за счет их объединения, например, можно содержание таблиц 16,17,18 представить одной – «Влияние положенной дозы рентгеновского излучения на микротвердость», объединить рис. 22 и 23, 24 и 25; а при обсуждении данных о химическом составе – не приводить все рентгеновские спектры, ограничившись представлением результатов в табличном виде. Кроме того, отметим низкое качество некоторых из приведенных в работе снимков, например, рис. 26 а, б.

Сделанные замечания не снижают впечатления от той большой и трудоемкой работы, которая выполнена диссертантом. Диссертация убедительно демонстрирует высокую профессиональную квалификацию соискателя. Результаты работы прошли достаточную апробацию на 5 научных конференциях различного уровня, опубликованы в 3-х журналах из перечня ВАК, получен 1 патент РФ на радиационно-защитное покрытие.

#### **Соответствие автореферата основному содержанию диссертации.**

Автореферат диссертации Вилкова Ф.Е. соответствует основному содержанию диссертационной записки.


**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» по пунктам 10, 11 и 14.** Все основные научные результаты получены автором лично, авторство текста также сомнений не вызывает. Основные результаты опубликованы в рецензируемых изданиях и защищены патентом РФ на разработанное покрытие. В диссертации содержатся ссылки на конкретных авторов и другие источники используемых в работе материалов. Таким образом, пунктам 10, 11 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней» она соответствует.

Диссертация Вилкова Ф.Е. на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится научно-обоснованное решение задачи, связанной с разработкой нового композитного радиационно-защитного покрытия для радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов, его оптимального состава, исследованием механические, противорадиационные и другие функциональные свойства, что имеет существенное значение для повышения надежности и ресурса электронных устройств, работающих в условиях космического пространства.

Таким образом, диссертационная работа Вилкова Ф.Е. соответствует требованиям п. 9 «Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 — порошковая металлургия и композиционные материалы.

**Официальный оппонент:**

Хрущов Михаил Михайлович,  
кандидат физико-математических наук,  
101990, Москва, Малый Харитоньевский пер., д.4,  
(499)135-43-29, E-Mail: [michel\\_x@mail.ru](mailto:michel_x@mail.ru),  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории механики термоциклического разрушения

 М.М. Хрущов

**Подпись М.М. Хрущова заверяю:**

Заместитель директора  
по управлению персоналом  
– начальник отдела кадров





Э.Н. Петюков

11 декабря 2018 г.