

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Трушлякова Валерия Ивановича на диссертацию Телегина Алексея Михайловича на тему «Разработка методик, экспериментальных установок и бортовых приборов для регистрации параметров микрометеороидов и частиц космического мусора», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики

Общая характеристика работы

Диссертация Телегина Алексея Михайловича посвящена разработке методик, экспериментальных установок и бортовых приборов для регистрации параметров микрометеороидов и частиц космического мусора.

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, приведён обзор существующих работ, сформулированы цель и задачи исследования, изложены основные результаты работы и их научная новизна, приведены положения, выносимые на защиту, описана структура диссертации.

В первой главе рассмотрены методы регистрации пылевых микрочастиц (микрометеороидов и частиц космического мусора). Подробно приведен обзор физических эффектов, которые используются для регистрации пылевых микрочастиц и конструкций датчиков. Предложена методика регистрации параметров микрометеороидов и частиц космического мусора с использованием планарных микрополосковых структур.

Вторая глава посвящена приборам ионизационного типа для регистрации высокоскоростных микрочастиц. В главе рассмотрены общие принципы построения приборов ионизационного типа для регистрации пылевых микрочастиц, представлены конструкции разработанных приборов и результаты экспериментальных исследований.

Третья глава посвящена приборам пролетного типа для регистрации высокоскоростных микрочастиц, представлены результаты экспериментальных исследований.

Четвертая глава посвящена приборам, используемым для регистрации пылевых микрочастиц в ускорителях микрочастиц. В главе приведено описание методики обработки сигналов с индукционного датчика цилиндрической формы, численное моделирование работы модификаций конструкций индукционных датчиков, методика обработки сигнала с индукционного датчика с модифицированной конструкцией электродов.

Пятая глава посвящена приборам для регистрации удара высокоскоростных микрочастиц, использующие элементы конструкций космических аппаратов. В главе

описана экспериментальная установка в виде макета космического аппарата для регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора.

Заключение охватывает основные результаты диссертационной работы, приведены выводы по работе в целом.

Список использованной литературы с необходимой полнотой охватывает тематику и положения, изложенные в диссертации.

В приложениях приведены дополнительные сведения, конкретизирующие методику обработки данных, а также акты внедрения и полученные достижения в области приборостроения.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, трех приложений. Текст изложен на 325 страницах машинописного текста, содержит 217 рисунков, 9 таблиц, список литературы из 437 наименований.

Актуальность исследования

Современные космические аппараты (КА) и бортовое оборудование создаются с расчетом на длительное пребывание в космическом пространстве. Одним из ключевых дестабилизирующих факторов космического пространства является воздействие пылевых микрочастиц — как естественных (микрометеороидов), так и техногенных (фрагментов космического мусора). Высокоскоростной удар частиц даже микронного размера, способен вывести из строя критические элементы: солнечные батареи, антенны, радиаторы и оптику. Проблема заключается не только в самом существовании пылевых микрочастиц, но и в недостаточной точности существующих моделей их пространственно-временного распределения. В связи с этим актуальной задачей является уточнение существующих моделей засорения окружающего пространства, что требует разработки новых методов и приборов, обладающих улучшенными целевыми показателями (чувствительностью, точностью определения параметров частиц, информативностью, достоверностью и т.д.).

Научная новизна

1. Предложена методика регистрации и созданы две экспериментальные установки для регистрации микрометеороидов и частиц космического мусора, в которых вместо громоздких схем мультиплексирования, применяемых в аналогичного типа пленочных датчиках, используется частотный анализ отклика пленочных микрополосковых структур. Принцип работы методики основан на учете зависимости резонансной частоты коэффициента передачи поврежденной линии от места разрыва полоска, использование предложенной методики позволяет уменьшить массогабаритные

характеристики датчиков высокоскоростных микрочастиц и упрощает их электронную часть за счет работы в частотном диапазоне от 4 до 30 МГц.

2. Разработан и изготовлен прибор ионизационного типа с нитяными электродами для регистрации высокоскоростных микрочастиц, отличающийся от обычного ионизационного датчика тем, что дополнительно содержит датчики температуры, электризации и контроля засветки Солнцем. С помощью разработанного прибора были выполнены эксперименты на орбите Земли и получены экспериментальные данные на малом космическом аппарате «АИСТ-1Т».

3. Разработана конструкция прибора для регистрации высокоскоростных частиц, состоящая из мишени, плоскопараллельных электродов и блока электроники, позволяющая с помощью ионизационного и наведенного импульсов производить измерения параметров микрочастиц (массы и скорости). Конструкция отличается тем, что каждый из модулей электроники расположен в отдельном экранированном корпусе, а эффективность работы прибора определяется предложенной на основе использования теоремы Рамо-Шокли методикой расчета форм импульса напряжения, наведенного в измерительных электродах этого прибора и вызванного пролетом высокоскоростных заряженных микрочастиц вблизи этих электродов. Методика позволяет описать полученные экспериментальные осциллограммы для разработанного датчика микрометеороидов с пластинчатыми электродами. Были представлены многообразия форм импульсов напряжения, полученных экспериментально на ускорителе микрочастиц с приемника ионов (плоскопараллельных электродов) при различных местах соударения высокоскоростных микрочастиц с элементами конструкции детектора (мишенью, электродами). Зависимости длительности пролетного импульса от скорости частицы $T = 12500 / V$, график отношения заряда собранных ионов к массе микрочастицы (Q/m) в зависимости от скорости частицы в диапазоне до 2,5 км/с может быть аппроксимирован зависимостью $Q / m = C \cdot V^{4.3}$, где C – константа для конкретного датчика, получаемая на основе тарировки. На основе проведенного исследования были объяснены результаты экспериментальных данных регистрации “двугорбого” наведенного импульса.

4. Разработана и экспериментально апробирована конструкция ионизационного прибора для регистрации высокоскоростных микрочастиц, обладающая принципиально новыми техническими и функциональными характеристиками. Ключевыми элементами новизны являются: введение оптического канала синхронизации для подавления электромагнитных помех; реализация двухканального режима измерения для расширения динамического диапазона измерений; использование комбинированной системы,

состоящей из чередования нитяных и пластинчатых электродов, позволившей снизить входную ёмкость при сохранении высокой эффективности сбора ионов. С помощью предложенного прибора были получены и проанализированы экспериментальные зависимости степени ионизации от скорости и материала мишени в диапазоне 1–10 км/с.

5. Предложена методика комплексной регистрации параметров заряженных микрочастиц на основе разработанного модульного сеточного прибора для одновременного измерения вектора скорости, заряда и массы микрочастицы, ключевым преимуществом которого является установленная и параметризованная зависимость предельной точности измерений от формы и размеров прибора, отличающаяся тем, что прибор позволяет одновременно оценивать массу, заряд и скорость высокоскоростной заряженной микрочастицы до 10 км/с. Для проверки работоспособности методики измерения вектора скорости микрочастицы был изготовлен и экспериментально проверен в ускорителе микрочастиц макет многосеточного датчика, для обработки результатов с которого была разработана и апробирована математическая модель расчета вектора скорости микрочастицы на основе полученных с датчика экспериментальных данных. Также предложена аналитическая формула, описывающая форму наведенного импульса на двух непараллельных сеточных измерительных электродах, что является новым шагом в интерпретации данных с сеточных индукционных датчиков.

6. Предложена методика математической обработки экспериментальных данных, получаемых от прибора оригинальной конструкции, предназначенного для измерения в электромагнитном ускорителе отклонения микрочастицы от заданной траектории, с модифицированной системой регистрации в виде трех электродов, расположенных на окружности, соосной оси ускорителя микрочастиц. Суть методики заключается в расчёте весовых коэффициентов для данных с каждого электрода при единичном потенциале на одном и нулевом потенциале на остальных, что позволяет по трём измеренным напряжениям с электродов восстановить положение микрочастицы.

7. Предложена оригинальная конструкция экспериментальной установки в виде малого космического аппарата, предназначенного для регистрации высокоскоростных частиц, чьей отличительной чертой является реализация концепции спутник-датчик с большой площадью детектирования высокоскоростных микрочастиц и активного магнитного управления ориентацией. Новизна заключается в синтезе зонтичной пленочной структуры металл-диэлектрик-металл большой площади с трехосной магнитной системой ориентации, что впервые позволяет обеспечить эффективную регистрацию параметров высокоскоростных частиц в широком телесном угле 2π стерадиан, что, примерно, в 1,5 раза больше, чем для разработанных ранее ионизационных датчиков.

Обоснованность и достоверность выводов диссертации

Достоверность полученных результатов подтверждается воспроизводимостью экспериментальных и расчетных данных, полученных на сертифицированных приборах, а также соответствием полученных результатов работам других авторов в данной области исследования, обсуждением результатов диссертации на международных и отечественных конференциях.

Теоретическая и практическая значимость работы

Разработанные методики и конструктивные решения могут быть непосредственно использованы при проектировании новых приборов для мониторинга околоземного пространства.

Полученные результаты имеют прикладное значение для совершенствования наземной экспериментальной базы: разработанные методики обработки сигналов и калибровочные зависимости могут быть применены при модернизации ускорителей микрочастиц, используемых для имитации космических условий в лабораторных испытаниях материалов и оборудования.

Практическое применения работы подтверждается большим количеством выполненных НИОКР по теме диссертационного исследования, в том числе связанные с разработкой и изготовлением реальных образцов.

Подтверждение опубликования полученных результатов в печати, соответствие автореферата диссертационной работе

Материалы исследования достаточно полно изложены в 103 работах, в том числе 41 статья в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1 глава в коллективной монографии, 8 статей в трудах конференций, индексируемых в информационно-аналитических системах научного цитирования SCOPUS / Web of Science, получено 35 патентов РФ, 18 статей в рецензируемых российских журналах, что в полной мере соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней. Результаты диссертационного исследования также прошли апробацию на конференциях.

Автореферат полностью соответствует диссертационной работе, в полном объёме отражает идеи, результаты и выводы диссертации, показан вклад автора в проведенные исследования, подчеркнута новизна и практическая значимость проведенных исследований.

Тема и содержание диссертации по содержанию, объекту и предмету соответствует пунктам: 2. Разработка новых принципов и методов измерений физических величин, основанных на современных достижениях в различных областях физики и позволяющих существенно увеличить точность, чувствительность и быстродействие измерений; 3.

Разработка и создание научной аппаратуры и приборов для экспериментальных исследований в различных областях физики; 4. Разработка и создание экспериментальных установок для проведения экспериментальных исследований в различных областях физики; 6. Разработка и создание средств автоматизации физического эксперимента, - направлений исследования паспорта научной специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики (технические науки).

Замечания по диссертационной работе:

1. При рассмотрении пленочного датчика в первой главе не рассмотрены вопросы влияния частичного разрушения металлического полоска на коэффициент передачи.

2. При описании модели наведённого импульса с использованием теоремы Рамо-Шокли автор вводит допущение о бесконечно большом входном сопротивлении усилителя. Следовало бы более явно пояснить, как изменяется форма импульса при использовании реальных операционных усилителей.

3. Подрисовочные подписи для рисунков 2.36, 2.37, с моей точки зрения, не совсем корректны сформулированы.

4. При рассмотрении пролетных датчиков не рассмотрен вопрос одновременного пролета нескольких заряженных микрочастиц.

5. В работе не рассмотрены вопросы уборки космического мусора, хотя у соискателя имеется публикация по данной тематике (Космический аппарат для очистки околоземного пространства от мусора / Семкин Н.Д., Телегин А.М., Бабенко А.В. // Патент на изобретение RU 2492125 C1, 10.09.2013).

Однако указанные недостатки не носят принципиального характера и не снижают общей положительной оценки работы.

Результаты работы представляют практический интерес при проектировании приборов для физических экспериментов в космосе.

Заключение

Диссертационная работа Телегина Алексея Михайловича «Разработка методик, экспериментальных установок и бортовых приборов для регистрации параметров микрометеороидов и частиц космического мусора» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему и имеющая практическое значения для авиакосмической отрасли.

В диссертации решена научная проблема по разработке методов и средств мониторинга микрометеороидов и частиц космического мусора с целью уточнения моделей их пространственно-временного распределения в околоземном космическом пространстве,

обеспечивающих повышение достоверности прогнозирования соударений при проектировании космических аппаратов.

Диссертационная работа Телегина Алексея Михайловича «Разработка методик, экспериментальных установок и бортовых приборов для регистрации параметров микрометеороидов и частиц космического мусора» соответствует всем требованиям пп.9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 (ред. от 16.10.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025).

Автор диссертационной работы Телегин Алексей Михайлович заслуживает присуждение ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Авиа и ракетостроения»
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Омский государственный технический университет»,
член-корр. академии наук Высшей школы,
советник российской академии ракетных и артиллерийских наук,
почётный член Международной астронавтической
ассоциации по космической безопасности



В.И. Трушляков

3.09.2026

Адрес: 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира 11.

Тел. +7 913 624 50 14

E-mail: vatrushlyakov@yandex.ru

Я, Трушляков Валерий Иванович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку



В.И. Трушляков

Подпись тов. Трушлякова В.И. подтверждаю,
Учёный секретарь учёного совета ОмГТУ



А.Ф. Немцова