

## О Т З Ы В О Ф И Ц И А Л Ь Н О Г О О П П О Н Е Н Т А

доктора технических наук старшего научного сотрудника  
КУЗНЕЦОВА ВЛАДИСЛАВА ИВАНОВИЧА

на диссертационную работу соискателя учёной степени  
кандидата технических наук  
ТРЕЩАЛИНА АНДРЕЯ ПЕТРОВИЧА

Диссертация выполнена на тему «Бортовой оптико-электронный программно-аппаратный комплекс контроля баллистических характеристик космического мусора» по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

**Актуальность** темы диссертационной работы. Обратной стороной технического прогресса, приведшего к освоению околоземного пространства, стало интенсивное образование космического мусора, состоящего ныне из частей отработавших ракет-носителей спутников, частей отработавших спутников и широкого спектра обломков всех размеров, образовавшихся в результате имевших место катастроф и не достаточно продуманных экспериментов. В частности, 10 февраля 2009 года произошло столкновение закончившего активное существование спутника Космос-2251 и функционировавшего коммуникационного спутника Iridium 33, приведшее к образованию более 2000 частиц различных размеров на высотах от 200 до 1700 км. Испытание КНР анти-спутниковой ракеты прямого подъёма привело к образованию около 850 частиц орбитального мусора размером более 10 см и тысяч более мелких частиц на высоте около 850 км.

Управление по слежению за космическим мусором NASA считает, что более 300000 объектов размером от 1 см присутствует на низких околоземных орбитах.

Созданная отечественная система контроля космического пространства (СККП), состоящая из наземных оптических обсерваторий и различных станций, не обеспечивает расчет столкновения с приемлемой вероятностью для



полного набора отслеживаемых объектов из-за низкой точности определения и прогнозирования орбит многочисленных, ранее известных составляющих космического мусора, в результате чего ежедневно происходят несколько ложных тревог.

При появлении нового объекта угрозы возникает задача быстрого начального определения его орбиты. Как в первом, так особенно во втором случаях возрастает роль космического сектора СККП.

Наблюдения из космоса имеет ряд преимуществ перед наземными системами: возможность круглосуточного наблюдения, отсутствие негативного влияния атмосферы, возможность изменения собственной орбиты-наблюдателя, и увеличения точности расчета орбит путем построения группировки спутников-наблюдателей, отсутствие географических и геополитических ограничений.

Насущная необходимость создания глобального космического сектора в системе СККП и определяет актуальность работы.

В основном существуют две технологии использования информации, получаемой от оптико-электронной аппаратуры космического базирования:

1) полного решения конечной задачи на борту, т.е. в данном случае начального определения орбиты визируемого объекта;

2) наземное точное решение задачи на основе передачи и отработки серии соответствующих участков небесной сферы, при этом и весь эксперимент, как правило, планируется на Земле и управляется с Земли.

Автор рассматриваемой диссертации выбрал первый путь, где ему впервые пришлось решать научную задачу разработки принципов и научно-методического аппарата начального определения орбиты на основе программно-аппаратного подхода.

Последний в космической области знаний считается весьма продуктивным, однако требующем обширных знаний и умений.

Целью диссертационного исследования автор определяет повышение информативности спутниковых оптико-электронных систем контроля космического пространства в первоначальном определении орбит околоземных объектов.



Объектом исследования является оптико-электронная и навигационная аппаратура спутника-наблюдателя в комплексе с разработанными алгоритмами.

**Научная новизна** диссертационной работы определяется следующими полученными автором научными результатами, выносимыми на защиту:

1. Предложена математическая модель синтеза информации, получаемой от оптико-электронной и навигационной систем спутника-наблюдателя для решения задачи начального определения орбит околоземных объектов.

2. Выполнен расчетно-теоретический анализ влияния параметров спутника-наблюдателя и ошибок бортовых данных на достоверность и точность начального определения орбит околоземных объектов.

3. Разработан алгоритм обнаружения движущегося слабоконтрастного объекта и определения его координат на серии зашумлённых изображений бортовой оптико-электронной аппаратуры.

4. Разработан предназначенный для работы на борту спутника алгоритм начального определения параметров орбит околоземных объектов на основе программно-аппаратного подхода.

5. Впервые в отечественной практике проведена экспериментальная отработка разработанного программно-аппаратного комплекса начального определения орбит околоземных объектов в реальном космическом эксперименте.

6. Разработан метод и алгоритм определения протяжённых объектов с использованием стереоскопической съёмки с двух спутников все перечисленные результаты диссертационной работы обладают теоретической и практической значимостью.

**Теоретическая значимость** результатов работы определяются вкладом автора в теорию оптико-электронных систем технического зрения и частично в теорию автономных систем навигации и ориентации спутников.

Теория автономных систем строится на математике решения краевых задач с использованием частных производных. Для реализации таких решений необходимо начальное приближенное знание об орбите – чем и занимается, по



сути, диссертант в своём исследовании, посвящённом, казалось бы, другой, утилитарной задаче.

В пунктах 1 и 2 фактически заложена идея расчета опорного значения для спутника, который наблюдается другим спутником – так называемый взаимный метод автономной навигации – позволяющий определять вектора состояний обоих спутников, если наблюдать с борта визирующего спутника движение визируемого на фон звёздного поля. При этом определяющим является то, что опорное значение орбиты визируемого спутника определяется за несколько минут при минимальном числе измерений и при приемлемой точности.

Пункты 3 и 4 целиком ложатся на развитие теории оптико-электронных систем и весьма полезны для любого метода автономной навигации и ориентации, построенного на определении приборных координат звёзд.

Так что, решая задачу приближенного определения орбиты космического мусора с помощью оптико-электронного устройства, автор *volens nolens* способствовал решению других задач.

**Практическая значимость** результатов исследований заключается в том, что на основе разработанного программно-аппаратного алгоритма удобно отлаживать любое фотоприёмное оптико-электронное устройство. Автор диссертации в проведенном космическом эксперименте использовал специализированный фотограмметрический блок разработки НПО "Лептон". В этой разработке автор диссертации принимал непосредственное участие.

**Достоверность и обоснованность** результатов диссертационной работы оценивается как корректностью постановки задачи исследований, выбора средств и способов для решения задачи, использованием при проведении теоретических исследований и моделировании реальных исходных данных, так, и ещё в большей степени, реальным проведением космического эксперимента, подтверждающего фактическое достижение целей исследования. Разработанный бортовой оптико-электронный программно-аппаратный комплекс был установлен в составе экспериментальной целевой аппаратуры на малом космическом аппарате, предназначенном для фундаментальных космических исследований и испытывался с июля 2012 года по май 2013 года. Были получены начальные параметры орбит для нескольких серий



изображений, которые сравнивались с данными независимого объективного контроля. Сравнение показало корректность работы алгоритма комплекса и определило уровень оценок погрешностей, который оказался вполне приемлемым.

Основные результаты исследований опубликованы автором в научной печати на уровне требований к публикации результатов кандидатской диссертации. В списке трудов автора тринадцать публикаций, три из которых входят в перечень основных российских рецензируемых журналов, определённых ВАК.

Общий список литературы по диссертации содержит 104 наименования, 46 из которых на иностранном языке.

#### **Недостатки диссертационной работы:**

1. Используя в качестве основы баллистических расчетов упрощённый алгоритм невозмущённого движения (полиномиальное разложение параметров орбиты по степени времени), автор не показал границы применимости его, в особенности в сочетании с числом удерживаемых членов в разложении.

2. При рассмотрении метода определения положения движущегося слабоконтрастного объекта на зашумлённом изображении (п. 3.2) не рассматривается такое явление как абберрация, без поправки на которую работа алгоритмов практически невозможна. По контексту всей главы 3 понятно, что эта поправка должна вводиться в алгоритм.

3. В главе 3 утверждается, что при удалении из изображения неподвижных объектов изображение визируемого объекта примет вид прямой линии, но это нигде не доказывается.

4. В главе 5, где исследуется возможное увеличение точности определения орбит при построении группировки спутников-наблюдателей, не рассмотрены механизм синхронизации камер в процессе съёма и влияние точности синхронизации на точность определения орбиты.

5. Диссертация перегружена описаниями и формальными преобразованиями процессов непосредственно не используемых для решений задач диссертационных исследований. Например, на четырёх страницах описывается метод Лапласа определения орбит, хотя сам автор диссертации



согласен, что этот метод лучше подходит для определения гелиоцентрических орбит, и в дальнейшем использует метод Гаусса.

6. В диссертации имеют место как погрешности в формульных преобразованиях, например, есть неточности в формулах (1.30), (1.45), (1.46), (1.47), (1.78), (2.32), так и терминологические погрешности, например, известный термин «инерциальная» (имеется ввиду систем координат) часто замещается «инерционная»; термин «оскулирующие» (параметры орбиты) замещаются словом «обычные», термин «декартовы координаты» вообще не используются, хотя большинство преобразований в формулах именно ведутся в этих координатах.

7. В диссертации отсутствует перечень используемых сокращений при их частом употреблении.

**Общая оценка** диссертационной работы. В целом диссертационная работа представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, которая содержит новое решение актуальной научной задачи. Указанные недостатки несколько снижают научную и практическую ценность результатов диссертационной работы, но не влияют на её общую положительную оценку.

Тема диссертации, направленность проводимых исследований и полученных результатов соответствуют паспорту специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Содержание автореферата отражает основные результаты диссертационных исследований. Работа аккуратно оформлена с соблюдением основных требований к оформлению диссертационных работ, содержит необходимое количество иллюстрированного и табличного материала, отражающего полученные результаты. Материалы диссертации изложены технически грамотным языком. Результаты других авторов использованы корректно с указанием ссылок на конкретные публикации. Приводятся использованные справочные и исходные данные. Соискатель не только владеет современными методами научных исследований, но и принимал деятельное участие в космическом эксперименте, подтвердившем результаты его исследований.



**Вывод.** Диссертационная работа является научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача, имеющая существенное значение для организации космического сектора системы контроля космического пространства. На основе исследований диссертации возможно быстрое начальное определение орбит космического мусора. Работа удовлетворяет критериям «Положения о присуждении ученой степени», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор – ТРЕЩАЛИН Андрей Петрович – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

### ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

старший научный сотрудник 34 отдела

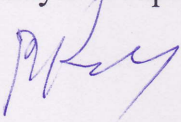
военного (научно-исследовательского) института

Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского

доктор технических наук старший научный сотрудник

В.И.КУЗНЕЦОВ

«21» ноября 2016 г.



197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13

Тел. (812) 347-97-70, 347-96-46

<http://vkamil.ru>, [vka@mil.ru](mailto:vka@mil.ru)

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

34 отдел ВИ (НИ), СНС

Личную подпись официального оппонента

доктора технических наук

старшего научного сотрудника КУЗНЕЦОВА В.И. заверяю.

*Врио начальника отдела карт*  
*В.И. Кузнецов*

