

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор,
первый заместитель
генерального директора
АО «НПК «СПП»,
доктор технических наук,
профессор, заслуженный
деятель науки РФ
В.Д. Шаргородский



«24» марта 2020г

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Ломаева Юрия Сергеевича «Алгоритмы повышения точности системы навигации и поддержания её целостности», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (космические и информационные технологии)».

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа посвящена вопросам обработки информации, получаемой со спутниковых навигационных систем космическим потребителем и организации надежного совместного взаимодействия высокоэллиптического орбитального сегмента с существующими глобальными навигационными системами. Необходимость поддерживать и улучшать доступность и точность навигации в стратегически важных регионах страны (Арктика и северные регионы) подтверждает актуальность проводимых в работе исследований. Существующие на сегодняшний день алгоритмы и решения, используемые в спутниковых радионавигационных системах, позволяют выполнять задачу местоопределения объектов с достаточно большой погрешностью в северных широтах.

Для определения значимости разработки и модернизации глобальных навигационных спутниковых систем приводится оценка развития спутниковых систем, путей поддержания надёжного функционирования и улучшения существующих орбитальных группировок, а также сравнение функционирующих глобальных и региональных навигационных спутниковых систем между собой.

Определение направлений модернизации и развития функционирующих глобальных (ГЛОНАСС, GPS, GALILEO, Compass) и региональных (QZSS, IRNSS) спутниковых навигационных систем между собой, обеспечение поддержания их

надёжного функционирования и улучшение существующих орбитальных группировок, минимизируют технические и финансовые затраты с одновременным улучшением предоставляемых данными системами сервисов для потребителей.

Бортовое программное обеспечение космических аппаратов предъявляет высокие требования к отработке логики функционирования, обеспечивающей надёжное решение всех целевых задач в условиях ограниченного вычислительного ресурса, с одновременным парированием нештатных ситуаций и организацией межспутникового взаимодействия.

Таким образом, задача повышения точности и поддержания целостности навигации потребителя в рамках существующих глобальных спутниковых систем на основе обработки информации, поступающей от навигационных КА в аппаратуру радионавигации космического потребителя на высокоэллиптической орбите, рассматриваемая в диссертационной работе, является на сегодняшний день актуальной научно-технической задачей.

Основные научные результаты и их значимость для науки и производства

Автором диссертации получены следующие научные результаты: разработана модель взаимодействия подсистем навигационных космических аппаратов и космического потребителя на высокоэллиптической орбите для определения параметров движения космического потребителя, разработана процедура для оптимизации параметров коэффициентов усиления при различных углах полураствора приёмных антенн космического потребителя в реальном времени, разработаны алгоритмы обеспечения устойчивой идентификации компонент наложенного сигнала в приёмной аппаратуре космического потребителя.

Задача обеспечения устойчивой идентификации компонент наложенного сигнала в приёмной аппаратуре космического потребителя была решена при помощи нового подхода комбинированного использования методов численного дифференцирования, кластерного анализа и методов оптимизации для нахождения оценок радионавигационных параметров разделённых компонент.

Разработанные алгоритмы были реализованы и протестированы на программно-математических моделях для проведения проверки логики функционирования подсистем космического аппарата и межспутникового взаимодействия в условиях ограниченного вычислительного ресурса.

Программные системы, разработанные на основе описанных алгоритмов, были успешно апробированы при решении ряда практических задач в рамках научно-исследовательских работ.

Полученные в диссертации результаты обоснованы, имеют высокую значимость для космонавтики, теории и практики системного анализа.

Объект и предмет исследования

В качестве **объекта исследования** выступают спутниковые радионавигационные системы космических комплексов. Предметом исследования является процесс алгоритмического и информационно-логического взаимодействия между космическими аппаратами.

Целью исследования является увеличение точности и поддержание целостности навигации потребителя в рамках существующих глобальных спутниковых систем на основе алгоритмической обработки информации, поступающей от навигационных космических аппаратов в аппаратуру радионавигации космического потребителя на высокоэллиптической орбите.

Научная новизна, теоретическая и практическая значимость

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке новых алгоритмов и процедур, направленных на улучшение функционирования спутниковых радионавигационных систем, позволяющих достичь поставленной цели. Необходимо отметить, что модель взаимодействия навигационных космических аппаратов на средних круговых орбитах с космическими аппаратами на высокоэллиптической орбите разработана впервые. Проведён анализ условий распространения навигационных сигналов до космических аппаратов высокоорбитальных космических комплексов от навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС, GPS, GALILEO, Compass.

Теоретическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в разработке и исследовании алгоритмов обработки информации (автоматизированной идентификации компонент наложенного сигнала в приёмном устройстве космического потребителя, нахождении оценок параметров аппроксимирующей функции), разработки модели взаимодействия подсистем навигационных КА и космического потребителя на высокоэллиптической орбите. Работа представляет теоретический интерес для исследователей, занимающихся обработкой информации спутниковых радионавигационных систем.

Практическая ценность диссертационного исследования заключается в повышении точности определения параметров движения потребителей, обеспечения надёжности и устойчивого функционирования КА при выполнении целевых задач, увеличения объема проверок при сокращении времени на разработку бортового программного обеспечения в условиях ограниченных вычислительных ресурсов, а также в возможности использования результатов работы при дальнейших исследованиях и разработке высокоточных навигационных космических комплексов.

Публикации. Основные результаты, представленные в диссертационной работе, опубликованы в 18 научных статьях, из которых 3 – в изданиях Перечня ВАК, 2 – в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus.

Апробация результатов. Результаты, полученные в диссертационном исследовании, докладывались и обсуждались на всероссийских и международных научно-практических конференциях, среди которых:

1. XX Юбилейная Международная научно-практическая конференция «Решетневские чтения», посвящённая памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева, СибГАУ им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, 2016.
2. IV научно-техническая конференция молодых специалистов АО «ИСС», АО «ИСС им. ак. М.Ф. Решетнева», Железногорск, 2017.
3. XXI научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов «РКК «Энергия», посвященная 60-летию со дня запуска первого искусственного спутника, РКК «Энергия», Королев, 2017.
4. IV Всероссийская научно-техническая конференция "Системы связи и радионавигации", АО «НПП «Радиосвязь», Красноярск, 2017.
5. VIII научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов центра управления полетами, «ЦНИИмаш», Королев, 2018.
6. X Общероссийская молодежная научно-техническая конференция «Молодежь. Техника. Космос», посвящённая памяти летчика-космонавта, дважды Героя Советского Союза - Г.М. Гречко, БГТУ «Военмех», Санкт-Петербург, 2018.
7. Международный семинар «Передовые технологии в материаловедении, машиностроении и автоматизации» the Workshop «Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering» - "MIP: Engineering - 2019".

Обзор диссертационной работы

Во *введении* обоснована актуальность темы диссертационной работы, рассмотрено состояние исследуемых вопросов, сформулированы цель и задачи работы, объект, предмет и методы диссертационного исследования, основные защищаемые положения. Приведены вопросы научной новизны, теоретической и практической значимости выполненных исследований.

В *первой главе* диссертации выполнен аналитический обзор состояния глобальных навигационных спутниковых систем на настоящий момент, приведён краткий экскурс в теорию навигационных спутниковых систем, а также выполнена оценка вариантов развития и совершенствования алгоритмов обработки спутниковой информации.

Во *второй главе* приведены алгоритмы обработки данных, полученных космическим потребителем от навигационных космических аппаратов.

Для решения задачи навигационных определений космических аппаратов принимаемая информация преобразована к такой структуре, при которой возможна оценка радионавигационных параметров (доплеровское смещение частоты, задержку, фазу сигнала). Приведена необходимость выполнения следующих действий для решения навигационной задачи:

- реализация алгоритмов устойчивого распространения информации от навигационных космических аппаратов до космического потребителя;
- организация эффективного алгоритмического разделения наложенных сигналов в приёмнике космического потребителя.

Третья глава диссертационной работы посвящена вопросу поддержания выполняемых навигационными КА задач функционирования. Предложены

подходы для отработки логики функционирования подсистем КА, обеспечивающие варианты проверок алгоритмического, информационно-логического взаимодействия как в рамках бортовой аппаратуры и бортового вычислительного комплекса навигационных КА, так и для организации межспутниковой связи, посредством которой возможно внесение поправок для уточнения параметров движения потребителя и других КА. В качестве основного средства отработки программной логики функционирования КА рассмотрено бортовое программное обеспечение, обеспечивающее взаимодействие вычислительного комплекса и аппаратур КА (в том числе аппаратуры радионавигации, в которой исполняются алгоритмы обработки информации), а также КА между собой (посредством межспутниковой связи с квитированием навигационной информации).

Четвёртая глава работы посвящена моделированию взаимодействия подсистем навигационных КА и космического потребителя на высокоэллиптической орбите для определения параметров движения космического потребителя с оптимизацией требуемых коэффициентов усиления при различных углах полураствора приёмных антенн космического потребителя в реальном времени, исследованием зависимости радиовидимости навигационных КА до и после оптимизации коэффициентов усиления антенных систем потребителя, применяемых алгоритмов идентификации компонент в принимаемых космическим потребителем сигналах.

В *пятой главе* в качестве вспомогательных средств для предварительной отработки алгоритмов и программной логики со стороны разрабатываемого бортового программного обеспечения предложено использование либо модельных (программно-математическую модель), либо приближенных представлений (образец для отработочных испытаний) бортовой аппаратуры.

В *заключении* подводятся итоги диссертационной работы.

Замечания и недостатки

К диссертационной работе могут быть сделаны следующие замечания:

1) Не описаны способы определения местоположения потребителей в северных широтах на сегодняшний день. Отсутствует анализ возможностей использования низкоорбитальных космических аппаратов для обеспечения навигации потребителей в условиях Крайнего севера и обоснование выбора систем спутниковой связи на высокоэллиптических орбитах для решения задачи навигации и мониторинга в северных широтах;

2) Слишком краткое раскрытие сути адаптивности процедуры оптимизации параметров коэффициентов усиления приёмных антенн. Не приведены преимущества предложенной процедуры нахождения теоретически оптимальной диаграммы направленности приёмных антенных систем по сравнению с используемыми на сегодняшний день методиками расчёта теоретически оптимальных диаграмм направленности;

3) В пункте 4.4 не указано, на какие глобальные навигационные системы распространяются результаты, полученные при моделировании приёма навигационных сигналов аппаратурой космического потребителя;

4) Сравнительно краткий анализ методов обработки информации (в частности, возможно рассмотрение нескольких методов кластерного анализа для идентификации компонент сигнала).

Несмотря на указанные недостатки представленная диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, а развиваемые в ней методы имеют большое практическое и методологическое значение.

Заключение.

В целом диссертация Ломаева Юрия Сергеевича является завершённой научно-исследовательской работой, посвящённой решению актуальных научно-технических задач, содержащей новые научные результаты. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

В целом, диссертация написана научным языком, обладает четкой структурой и единой системообразующей идеей. Цель диссертации достигнута, задачи выполнены в полном объёме. Все результаты и выводы диссертации научно обоснованы и подтверждены вычислительными экспериментами.

Диссертационная работа Ломаева Ю.С. на тему «Алгоритмы повышения точности системы навигации и поддержания её целостности» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи повышения точности навигации потребителя по сигналам от навигационных КА и по своему содержанию, научной новизне и практической ценности соответствует требованиям (п.9-14) «Положения о присуждении ученых степеней...» ВАК Министерства науки и образования РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ломаев Юрий Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (космические и информационные технологии)».

Диссертация и отзыв на нее заслушаны, обсуждены и одобрены на заседании научно-технического семинара в АО «НПК «СПП» 14 марта 2020 года.

Начальник отдела, к.т.н.

Жабин Алексей Сергеевич