

141070

г. Королев

Московской области,

ул. Ленина, 4-а

Телеграфный "ГРАНИТ"

Телефон: (495) 513-86-55

Факс: (495) 513-88-70, 513-86-20, 513-80-20

E-mail: post@rsce.ru

http://www.energia.ru



24.11.15 № 38-5/133

На № \_\_\_\_\_

«Утверждаю»

Первый заместитель

генерального конструктора  
академик РАН, д.т.н., профессор

Е.А. Микрин



2015 г.

Документ зарегистрирован	11.01.2016
Инициалы	72-2/16
Директор	ОДОУ Сорокоумова И.Ю.
	20

### ОТЗЫВ

Ракетно-космической Корпорации «Энергия» имени С. П. Королёва, утверждённой диссертационным советом Д 212.233.05 при Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения, в качестве ведущей по диссертации Михайлова Николая Викторовича на тему «Автономная навигация космических аппаратов с использованием спутниковых радионавигационных систем», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация»

Диссертация Н. В. Михайлова посвящена навигации космических аппаратов (КА) по сигналам спутниковых радионавигационных систем (СРНС).

Широкое применение космических аппаратов в гражданской сфере, например в области связи и при проведении разнообразных геофизических исследований, все более актуализирует проблему разработки коммерчески оправданного и в то же время высокоточного автономного навигационного обеспечения для условий космического пространства. Под автономностью здесь понимается способность обходиться без информационной поддержки с наземных контрольных станций слежения, которые не застрахованы от влияния человеческого фактора, имеют ограниченную зону передачи сигналов и, к тому же, характеризуются значительной задержкой в подготовке отсылаемой космическому потребителю информации. Одним из путей решения этой проблемы является использование приемников СРНС, которому и посвящена работа Н.В. Михайлова.

Актуальность исследования не вызывает сомнения, поскольку мировой рынок гражданских радионавигационных приемников космического применения находится в фазе становления. Исследовательская работа Н.В. Михайлова окажет существенную помощь отечественным производителям в выходе на этот рынок. Чем быстрее это произойдет, тем больше шансов у России сохранить свои лидирующие позиции в космосе. Актуальность работы подтверждается также ее связью с планами развития радионавигации в России. В российском радионавигационном плане для перспективных космических аппаратов предусматривается значительное повышение эффективности решения целевых задач с одновременным повышением автономности их функционирования. В связи с этим возрастают требования к навигационному обеспечению таких КА, которые не могут быть обеспечены традиционными наземными средствами навигационного обеспечения и требуют использования бортовых средств.

Диссертация Н.В. Михайлова посвящена решению проблемы повышения эффективности использования искусственных спутников Земли при помощи решения навигационной задачи без участия наземных систем управления путем

применения бортовой аппаратуры спутниковой навигации (БАСН) за счет разработки методологии проектирования БАСН и создания БАСН на основе этой методологии.

Практическая важность этой проблемы, определяется тем, что автономная навигация не только повышает эффективность использования спутников и позволяет снизить эксплуатационные расходы, но предоставляет новые, до сих пор недоступные функциональные возможности. Использование БАСН обеспечивает снижение эксплуатационных расходов за счет того, что наземные операции по управлению спутниками существенно упрощаются, а навигационное планирование кардинально упрощается. БАСН уменьшает расход топлива на борту КА, позволяя увеличить время упреждения и поддерживать максимально допустимый радиус орбиты КА. БАСН делает возможным уменьшение стоимости и массы спутников за счет уменьшения размеров двигателей малой тяги и упрощения системы контроля и поддержания орбиты. Отметим также решающую роль БАСН в навигации спутников внутри космических группировок – автономная навигация на борту КА обеспечивает автоматическое удержание спутников на орбите, минимизацию риска столкновений между спутниками группировки, минимизация нежелательного радиочастотного взаимодействия, автоматическое поддержание периода орбиты спутников и автоматизацию навигационного планирования.

Для решения заявленной проблемы автором были разработаны методы и технические средства, позволяющих существенно повысить эффективность эксплуатации спутников за счет решения навигационной задачи без участия наземных систем управления. Эти методы автор аргументированно разделяет на методы проектирования архитектуры навигационного приемника (раздел 2), методы и алгоритмы обработки сигналов (раздел 3), методы решения навигационной задачи (раздел 4) и методы решения задачи относительной навигации (раздел 5).

Диссертационная работа построена в соответствии с классическим подходом – постановка проблемы, анализ проблемы и синтез решения. Автор в своей работе дает подробный анализ особенностей космического базирования приемников СРНС и формулирует основные задачи, которые необходимо решить для создания аппаратуры автономной навигации космических кораблей при помощи СРНС. В соответствии с традиционной методологией все задачи разделены на задачи проектирования архитектуры приемника, задачи первичной и вторичной обработки сигналов, а также задачи относительной навигации.

В рамках синтеза решения выявленных задач предложены оригинальные идеи, разработаны и проверены новые методы проектирования аппаратуры потребителя СРНС (архитектура на основе программного коррелятора с частичным взятием отсчетов); методы первичной обработки сигналов (методы поиска сигналов и методы слежения за сигналами в программном корреляторе); методы вторичной обработки сигналов (определение параметров орбит ИСЗ по сигналам СРНС), а также метод относительной навигации спутников при помощи СРНС.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации заключается в следующем:

1. предложена архитектура приемника спутниковой навигации, отличающаяся динамически изменяемым числом каналов коррелятора, что позволяет реализовать многоканальную обработку сигналов на вычислительной платформе с низкопроизводительным ЦПУ;
2. предложен метод поиска сигналов СРНС, отличающийся возможностью обнаружения сигналов в условиях широкого диапазона изменения доплеровского смещения частоты и при низких отношениях сигнал-шум;

3. предложен вычислительно эффективный метод слежения за задержкой огибающей и фазой несущей частоты сигнала СРНС, отличающийся применимостью в условиях высокого уровня внутрисистемных помех;
4. предложен вычислительно эффективный метод вторичной обработки сигналов СРНС, отличающийся тем, что делает возможным решение навигационной задачи в условиях, когда в зоне радиовидимости находятся не более трех навигационных спутников одновременно;
5. предложен вычислительно эффективный метод относительной навигации по фазовым измерениям СРНС, отличающийся тем, что он может быть использован на борту низкоорбитальных спутников.

Значимость для науки и практики теоретических результатов работы состоит в следующем:

- автором систематизировано исследованы все аспекты проектирования БАСН от вопросов аппаратной реализации до математических деталей вторичной обработки информации, что позволяют решать весь комплекс практических задач разработки бортовой аппаратуры спутниковой навигации;

- разработанные в диссертации методы, структуры, модели и алгоритмы находятся во взаимосвязи и представляют собой полную методологию проектирования БАСН, которую могут использовать предприятия ракетно-космической отрасли при создании бортовой аппаратуры спутниковой навигации;

- разработанная автором архитектура БАСН на основе программного коррелятора и использования неполного ансамбля отсчетов входного сигнала может быть применена для построения приемников радионавигационных сигналов не только GPS, но и российской системы ГЛОНАСС, что практически значимо для российских разработчиков;

- разработанные алгоритмы и аналитические соотношения поиска сигналов и слежения за параметрами сигналов могут быть использованы не

только в БАСН, но и в более широком классе устройств цифровой обработки сигналов, например, радиолокационных;

- разработанный метод интегрирования нелинейных уравнений движения спутника на основе итерационного фильтра Калмана может использоваться не только при определении орбит КА, но и, например, в инерциальных навигационных системах;

- разработанный метод разрешения фазовой неоднозначности сигналов СРНС описан в диссертации настолько детально, что не требует пояснений для его реализации в аппаратуре спутниковой навигации и может применяться на практике инженерами и учеными. Кроме того, указанный метод может применяться в любом приемнике сигналов СРНС, независимо от используемых систем навигации (GPS, ГЛОНАСС, GPS/ГЛОНАСС и др.) и назначения целевой аппаратуры (от космического применения до бытовой электроники).

Практическая ценность полученных результатов диссертации подтверждается наличием положительного опыта их внедрения и использования, а именно созданием и дальнейшей коммерческой эксплуатацией компанией Astrium EADS (Германия) БАСН MosaicGNSS.

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается следующими объективными данными:

- предложенные принципы построения архитектуры приемника спутниковой навигации, а также первичной и вторичной обработки сигналов основаны на логически обоснованных научных положениях;

- разработанная архитектура приемника обоснованно вытекает из реального состояния уровня готовности гражданской радиоэлектронной аппаратуры космического базирования;

- теоретические положения, вынесенные на защиту, базируются на известных, корректно использованных теориях и методах, применение которых обосновано;

- предложенные модели базируются на проверяемых данных и фактах, адекватно соответствуют условиям решаемых задач и выбранным методам решения;

- полученные практические результаты верифицируемы, не противоречат известным теориям и практическим результатам других исследователей:

- результаты диссертационных исследований использованы компанией EADS Astrium (Германия) при разработке БАСН MosaicGNSS, которая прошла успешную проверку в ходе космических полетов и коммерческой эксплуатации;

- результаты работы Михайлова Н. В. прошли апробацию на международных симпозиумах и конференциях.

В целом диссертация производит положительное впечатление. Работа не лишена недостатков. Стоило бы большее внимание уделить результатам летных испытаний приемника MosaicGNSS на различных изделиях, в частности, на российском спутнике дистанционного зондирования "E-Star", разработанного ОАО РКК «Энергия» по заказу Египта. Кроме того, можно порекомендовать автору в последующем серьезное внимание уделить вопросам автономного контроля целостности СРНС.

Высказанные замечания не носят принципиального характера и не оказывают значимого влияния на общую положительную оценку диссертационного исследования Н.В. Михайлова.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Полученные в работе результаты рекомендуется использовать на предприятиях ракетно-космического комплекса, прежде всего, целесообразно рассмотреть применение разработанной автором методологии проектирования БАСН в ОАО «РКК Энергия», АО «ИСС» имени академика М.Ф. Решетнёва» и ОАО «Российские космические системы».

Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати. Материалы диссертации полно отражены в 42 публикациях, среди которых 2 монографии, 18 статей в изданиях, включенных в перечень ВАК, 2 патента на изобретение, 2 зарегистрированные программы для ЭВМ и 16 выступлений на международных и российских научно-технических конференциях. Требования к публикациям основных научных результатов диссертации, предусмотренные пунктами 11 и 13 "Положения о присуждении ученых степеней", выполнены.

Автореферат соответствует основному содержанию работы и отражает полученные результаты.

Заключение о соответствии диссертации и автореферата, предъявляемым требованиям

Диссертационная работа Михайлова Н.В. «Автономная навигация космических аппаратов с использованием спутниковых радионавигационных систем» полностью отвечает критериям, изложенным в Положении о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842.

Диссертация Михайлова Н.В. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена актуальная научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение, – проблема повышения эффективности эксплуатации искусственных спутников Земли путем применения бортовой аппаратуры спутниковой навигации.

Содержание диссертация соответствует специальности 05.12.14 «Радиолокация и радионавигация», а ее автор, Михайлов Николай Викторович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.14 «Радиолокация и радионавигация»



Отзыв рассмотрен на заседании научно-технического совета Научно-технического центра «Бортовые и наземные комплексы и системы управления космических аппаратов» протокол №112 от «20» ноября 2015 г.

Заместитель руководителя научно-технического совета Научно-технического центра «Бортовые и наземные комплексы и системы управления космических аппаратов»

доктор технических наук, снс,  
лауреат государственной премии РФ



Зубов Николай Евгеньевич

Почтовый адрес: 141070, Московская обл., г. Королев, ул. Ленина 4а

Телефон (495) 513-60-35

Адрес электронной почты: Nikolay.Zubov@rcse.ru

Организация – место работы: ОАО Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева

Должность: Заместитель руководителя НТЦ «Бортовые и наземные комплексы и системы управления космических аппаратов»

Подпись и сведения заверяю.

Учёный секретарь диссертационного совета, к.ф-м.н



О.Н. Хатунцева