

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.233.05  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ», МИНИСТЕРСТВО  
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 16 февраля 2016 г. № 1/16  
о присуждении Михайлову Николаю Викторовичу, гражданину Российской  
Федерации, ученой степени доктора технических наук.

**Диссертация** «Автономная навигация космических аппаратов с  
использованием спутниковых радионавигационных систем»

**по специальности** 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация»

**принята к защите** 3 ноября 2015 года, протокол № 2/15, диссертационным  
советом Д 212.233.05 на базе Федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский  
государственный университет аэрокосмического приборостроения»,  
Министерство образования и науки Российской Федерации, 190000, Санкт-  
Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, приказ №741/нк от 08.07.2015 г.

**Соискатель** Михайлов Николай Викторович, 1967 года рождения,  
гражданин Российской Федерации, диссертацию на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук «Адаптивный метод сейсмической  
деконволюции» защитил в 1995 году, в диссертационном совете, созданном на  
базе Санкт-Петербургского государственного университета, работает  
директором по науке Фонда Сколково.

**Диссертация выполнена** на кафедре радиотехнических систем  
Федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет

аэрокосмического приборостроения», Министерство образования и науки Российской Федерации.

**Официальные оппоненты:**

1. Степанов Олег Андреевич, доктор технических наук, профессор, начальник Научно-образовательного центра акционерного общества «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор»»;

2. Тисленко Владимир Ильич, доктор технических наук, профессор кафедры «Радиотехнические системы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»;

3. Урличич Юрий Матэвич, доктор технических наук, профессор, заместитель руководителя Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Открытое акционерное общество "Ракетно-космическая корпорация "Энергия" имени С.П. Королёва", г. Королев, в своем положительном заключении, подписанном Зубовым Николаем Евгеньевичем, доктором технических наук, старшим научным сотрудником, лауреатом государственной премии РФ, заместителем руководителя научно-технического совета Научно-технического центра «Бортовые и наземные комплексы и системы управления космических аппаратов», утвержденном первым заместителем генерального конструктора, академиком РАН, доктором технических наук, профессором Е.А. Микриным, указала, что диссертационная работа Михайлова Н.В. является завершенной научной работой, научные результаты, полученные соискателем, имеют существенное значение для разработки, исследования и эксплуатации бортового навигационного оборудования космических аппаратов. Совокупность научных результатов диссертации и их внедрение могут быть квалифицированы как решение



актуальной научной проблемы повышения эффективности эксплуатации искусственных спутников Земли (ИСЗ) путем применения бортовой аппаратуры спутниковой навигации, имеющей важное хозяйственное значение.

**Соискатель имеет** 65 опубликованных работ, в том числе 46 работ по теме диссертации, в том числе 2 монографии, 18 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК, патент на изобретение, 2 зарегистрированные программы для ЭВМ и 23 выступления на российских и международных конференциях. Получены акты о внедрении результатов диссертационной работы от пяти организаций: АО «Российский институт радионавигации и времени», ООО «ГЛОНАСС-НЕВА», ООО «СофтНав», ООО «РНав», и ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения». В работах, опубликованных вместе с соавторами, личный вклад соискателя состоял в постановке задачи, разработке методов и алгоритмов и непосредственном проведении экспериментальных исследований. Общий объем научных изданий составляет 45 печатных листов.

**Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:**

1. Михайлов, Н. В. Автономная навигация космических аппаратов при помощи спутниковых радионавигационных систем. - СПб.: Политехника, 2014. - 362 с.

2. Михайлов, Н. В. Автономная навигация космических кораблей с использованием GPS / Н. В. Михайлов, В. Ф. Михайлов, М. В. Васильев // Гироскопия и навигация. - 2008. - № 1. - С. 3–21.

3. Михайлов, Н. В. Автономная относительная навигация космических кораблей при помощи одночастотного приемника сигналов GPS // Известия высших учебных заведений России. Приборостроение. - 2011. - № 8. - С. 71–77.

4. Михайлов, Н. В. Метод слежения за задержкой сигнала в бортовой аппаратуре спутниковой навигации с программным коррелятором / Н. В.

Михайлов, В. В. Чистяков // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. - 2013. - № 5. - С. 60–66.

5. Михайлов, Н. В. Измерение радионавигационных параметров сигнала СРНС следящими системами без обратной связи в условиях многолучевого распространения / Н. В. Михайлов, Д. Е. Юдакин, П. В. Глушков // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. - 2013. - № 176. - С. 18–28.

6. Михайлов, Н. В. Метод определения координат и скорости геостационарного космического аппарата по измерениям спутниковых навигационных систем / Н. В. Михайлов, В. Ф. Михайлов // Успехи современной радиоэлектроники. - 2013. - № 2. - С. 113–121.

7. Михайлов, Н. В. Применение метода определения параметров орбиты геостационарного спутника Земли с использованием спутниковых радионавигационных систем / Н. В. Михайлов, В. Ф. Михайлов // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. - 2013. - № 2. - С. 71–76.

8. Михайлов, Н. В. Решение задачи навигации для геостационарного космического аппарата на основе уравнений его динамики и эпизодических измерений от навигационных спутников / Н. В. Михайлов, Д. А. Кошаев // Гироскопия и навигация. - 2014. - № 4 (87). - С. 16–33.

9. Mikhailov, N. SoftFlex : An Advanced Approach to Design of GNSS Receiver with Software Correlator / A. Botchkovski, V. Chistyakov, M. Golubev, N. Mikhailov, S. Pospelov, M. Vasilyev, P. A. Krauss, W. Fichter, M. Mitnacht, E. Gottzein // Proceedings of the 12th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1999). - Nashville, TN, 1999. - P. 353–362.

10. Mikhaylov, N. V. “Soyuz”-“Mir” Orbital Flight GPS/GLONASS Experiment / N. V. Mikhaylov, M. V. Vasil'ev, S. V. Filatchenkov, S. Stishov, V. Branetc, S. N. Klushnikov et al. // Proceedings of the 12th International Technical



Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1999). - Nashville, TN, 1999. - P. 2303–2312.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы из 10 организаций (все отзывы положительные):**

1. ФГБУН Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (подписал научный руководитель ИРЭ РАН, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор Ю.В. Гуляев). Замечания: несмотря на то, что в диссертации детально изложены методы проектирования БАСН, в будущих исследованиях автору рекомендуется уделить внимание следующим аспектам проектирования: 1. методам предполетного тестирования БАСН; 2. методам определения ориентации ИСЗ по сигналам СРНС; 3. методам автономного контроля целостности.

2. АО «Концерн «Созвездие» (подписал научный руководитель АО «Концерн «Созвездие», член-корреспондент РАН В.И. Борисов). Замечания: 1) из материалов автореферата не ясно, могут ли быть полученные научные результаты использованы для проектирования многосистемных и/или многочастотных БАСН; 2) несмотря на подробное описание математической и алгоритмической составляющих исследований в диссертации, в автореферате отсутствуют алгоритмы в виде граф-схем, формулы, структурно-функциональные организации разработанных аппаратных решений и другие традиционные для технического труда графические материалы.

3. ООО «Антарес» (подписал вице-президент по стратегическому развитию группы компаний Антарес, доктор технических наук, академик РАЕН С.Л. Портной). Замечания: 1) в работе отсутствуют сведения о надежности находящейся в процессе коммерческой эксплуатации БАСН MOSAIC GNSS и общая статистика эксплуатации – проблемы в космосе, выход за заявленные параметры (характеристики) и пр.; 2) следовало бы расширить приложения предложенных методов. Так, например, метод уменьшения загрузки процессорного устройства может быть использован не только для увеличения

числа каналов корреляции, но и для уменьшения энергопотребления в аппаратуре для массового рынка. Автореферат не содержит сведений о внедрении такого рода, а в тексте диссертации описание применения разработанных методов вне радионавигационных приемников космического базирования следовало бы расширить.

4. АО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры» (подписал начальник отдела антенных измерений АО «ВНИИРА», доктор технических наук, профессор В.С. Калашников). Замечания: 1) отсутствие информации о результатах решения задачи влияния внутрисистемной помехи на декодирование навигационных данных; 2) отсутствие сведений о типах антенн, которые рекомендуется использовать в БАСН, и об антеннах, использованных в космических экспериментах; 3) отсутствие каких-либо математических соотношений, подтверждающих теоретические выводы.

5. АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс» (подписал заместитель генерального конструктора по радиолокации и радиофизике АО «НПП «Радар ммс», доктор технических наук, профессор В.А. Сарычев). Замечания: 1) в автореферате заявлено лишь, что точность метода удовлетворяет точностным требованиям к БАСН. Сами точностные требования в тексте автореферата отсутствуют. В тексте диссертации результаты апробации описаны достаточно подробно. Следовало бы расширить соответствующий раздел автореферата; 2) не рассмотрен вопрос о возможности использования предложенных методов вторичной обработки сигналов на борту низкоорбитальных спутников.

6. ФГБУН «Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук» (подписал научный руководитель ЦИТП РАН, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор В.Н. Гридин). Замечания: 1) предложенный метод решения навигационной задачи не был опробован на данных, полученных на борту космического аппарата; 2) не



рассмотрен вопрос о применимости предложенных методов проектирования к многосистемным приемникам, использующим не только сигналы системы GPS, но и сигналы ГЛОНАСС, Galileo и Beidou.

7. АО «Научно-исследовательский институт авиационного оборудования» (подписал заместитель Генерального директора по научной работе – директор по инновационному развитию АО «НИИАО», доктор технических наук, профессор А.Л. Аникин). Замечания: 1) следовало более подробнее рассмотреть зависимость динамических характеристик фильтра петли схемы слежения за задержкой огибающей при ее комплексировании со схемой фазовой автоподстройки частоты в условиях случайных флуктуаций; 2) автоматизированное тестирование радионавигационных приемников является важной практической задачей, которой в работе не уделено достаточного внимания, дана лишь ссылка на работу автора по этой теме; 3) в автореферате не приведены сведения о влиянии внутрисистемных помех на декодирование навигационных данных.

8. ОАО «Российский институт мощного радиостроения» (подписали начальник научно-технического отдела, кандидат технических наук, доцент Г.В. Шарко, старший научный сотрудник, кандидат технических наук А.Н. Мингалев, утвердил заместитель генерального директора по научной работе, технический директор, доктор технических наук, доцент С.А. Лобов). Замечания: 1) из материалов автореферата неясно, можно ли использовать разработанную методологию проектирования приемников спутниковой радионавигации для разработки БАСН, эксплуатируемых на траектории спуска космического аппарата; 2) в автореферате не приведены сведения о надежности эксплуатации БАСН, в частности, отсутствует статистика ее отказов.

9. ООО «Научно-производственное предприятие «Цифровые радиотехнические системы» (подписал главный специалист ООО «НПП «ЦРТС», кандидат технических наук, доцент А.Д. Французов). Замечания: в материалах автореферата нет сведений об антеннах, которые рекомендуется

использовать в БАСН, не приведены сведения об антеннах, использованных в космических экспериментах.

10. ФГБОУ ВО Московский государственный университет геодезии и картографии (подписал заведующий кафедрой прикладной геодезии МИИГАиК, кандидат технических наук, профессор А.О. Куприянов, утвердил и.о. первого проректора – проректора по учебной работе, доктор технических наук, профессор В.А. Малинников). Замечания: 1) не рассмотрен вопрос о возможности использования предложенных методов вторичной обработки сигналов на борту низкоорбитальных спутников; 2) следовало бы уделить большее внимание универсальности метода разрешения фазовой неоднозначности и особенностям его применения к радиочастотным датчикам; 3) не приведены сведения об отказах MOSAIC GNSS при работе в условиях космического полета.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их достижениями в области радионавигации и наличием соответствующих публикаций, в том числе в ведущих журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией при Минобрнауки России. Выбор ведущей организации ОАО «РКК «Энергия» обосновывается тем, что данная организация является ведущим российским ракетно-космическим предприятием, головной организацией по пилотируемым космическим системам. В штате предприятия работают один действительный член и один член-корреспондент Российской академии наук, 29 докторов и 180 кандидатов наук.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** методология проектирования бортовой аппаратуры спутниковой навигации (БАСН), представляющая собой применяемый одновременно и во взаимной связи набор методов проектирования архитектуры БАСН, первичной и



вторичной обработки сигналов в БАСН, а также методов решения задачи относительной навигации при помощи БАСН;

**предложены** архитектура приемника спутниковой навигации, отличающаяся динамически изменяемым числом каналов коррелятора; метод поиска сигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС), работоспособный в условиях широкого диапазона изменения доплеровского смещения частоты и при низких отношениях сигнал-шум, т.е. в реальных условиях эксплуатации на борту спутника; вычислительно эффективный метод слежения за задержкой огибающей и фазой несущей частоты сигнала СРНС, применимый в условиях высокого уровня внутрисистемных помех; вычислительно эффективный метод вторичной обработки сигналов СРНС на основе модификации фильтра Калмана использующей субоптимальную модель возмущающих воздействий с учетом их параметрической неопределенности; алгоритм разрешения неоднозначности фазы сигнала несущей частоты сигналов СРНС;

**доказано** повышение эффективности эксплуатации искусственных спутников Земли при помощи БАСН, а также доказано, что: разработанный метод проектирования БАСН делает возможным создание БАСН на основе доступной гражданскому потребителю элементной базы; разработанный метод организации поиска сигналов обеспечивает возможность организации в БАСН с программным коррелятором параллельной работы следящих систем и схемы поиска на основе быстрого преобразования Фурье; алгоритм разрешения неоднозначности фазы сигнала несущей частоты позволяет вырабатывать оптимальные оценки фазы несущей частоты при ограничениях, характерных для БАСН: а именно: высокие требования к надежности решения и малое время радиоконтакта со спутниками СРНС;

**введены** понятие БАСН; новая трактовка внутрисистемной помехи.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказано**, что полученные аналитические зависимости погрешностей оценки задержки огибающей сигнала и оценки фазы несущей частоты в зависимости от

параметров внутрисистемной помехи в наихудших условиях приема сигнала позволяют адекватно учитывать влияние внутрисистемной помехи на схемы слежения; метод расчета параметров поиска сигналов СРНС в БАСН на основе полученных аналитических зависимостей для расчета параметров обнаружителя Вальда обеспечивает научно обоснованный выбор параметров процедур поиска сигналов СРНС в БАСН; модификация фильтра Калмана, использующая субоптимальную модель возмущающих воздействий с учетом их параметрической неопределенности, способна вырабатывать оптимальные по критерию минимума дисперсии погрешности оценки навигационных параметров движения спутника при ограничениях, характерных для БАСН;

**применительно к проблематике диссертации результативно и эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов, использован комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе аналитические, численные, моделирование, экспериментальные;**

**изложены** идеи и методы повышения эффективности эксплуатации искусственных спутников Земли (ИСЗ) на основании использования БАСН;

**раскрыты** особенности проектирования БАСН;

**изучены** факторы, влияющие на методологию проектирования БАСН (условия эксплуатации, существующая элементная база, вид околоземной орбиты, условия приема сигналов СРНС на борту ИСЗ) и предложены пути их учета;

**проведена модернизация** архитектуры БАСН, алгоритмов первичной и вторичной обработки сигналов, метода разрешения фазовой неоднозначности сигналов.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены** БАСН, используемые для автономной навигации искусственных спутников Земли. БАСН внедрены компанией EADS Astrium (Германия) и прошли успешную проверку в ходе космических полетов и коммерческой эксплуатации. Имеется 5 актов внедрения на предприятиях РФ, в



том числе результаты исследования используются в учебном процессе Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения в нескольких дисциплинах по программе подготовки магистров;

**определены** перспективы практического использования разработанных БАСН в ракетно-космической отрасли;

**созданы** новые практические предпосылки к разработке БАСН, большинство результатов работы использовано при проектировании эксплуатируемых БАСН;

**представлены** методы и технические решения, направленные на дальнейшее повышение точностных и эксплуатационных характеристик БАСН.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**при экспериментальных исследованиях** результаты работ согласуются с данными, полученными на сертифицированном оборудовании, показана воспроизводимость результатов исследования на симуляторе сигналов СРНС;

**теория** построена на основе собственных исследований и согласуется с известными литературными данными;

**идея базируется** на обобщении передового научного и практического опыта, анализе экспериментальных данных и результатах теоретических исследований;

**использованы** результаты сравнения теоретического и экспериментального моделирования полетных данных с данными из независимых источников;

**установлено** качественное и количественное совпадение результатов работы с результатами независимых источников по тематике работы;

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации.

**Личный вклад соискателя состоит в** выявлении проблемы и непосредственном выполнении всех этапов исследования; постановке задач исследования; планировании теоретических исследований и экспериментов; обработке данных и анализе полученных результатов, обобщении результатов в виде научных выводов и рекомендаций; получении и обработке исходных и

экспериментальных данных; подготовке основных публикаций по выполненной работе; внедрении новых научных результатов в научные, учебные и промышленные предприятия; апробации результатов исследования.

На заседании 16 февраля 2016 года диссертационный совет принял решение присудить **Михайлову Николаю Викторовичу** ученую степень доктора технических наук по специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.12.14, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 18, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель диссертационного совета Д 212.233.05  
доктор технических наук, профессор

Крук Евгений Аврамович

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.233.05  
кандидат технических наук, доцент

Овчинников Андрей Анатольевич

«16» февраля 2016 года

