

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Михайлова Николая Викторовича на тему «Автономная навигация космических аппаратов с использованием спутниковых радионавигационных систем», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация»

### Актуальность работы.

Рост числа запусков искусственных спутников Земли ИСЗ, начало освоения ближнего космоса частными компаниями, ожидаемый рост числа малых космических аппаратов создают предпосылки коммерческой эксплуатации спутников. Эффективность эксплуатации ИСЗ в значительной степени зависит от возможности непрерывного решения задачи навигации с необходимой точностью. В настоящее время получение навигационной информации опирается на использование наземных станций, что не позволяет получать навигационные данные непрерывно. Наиболее перспективный путь построения систем автономной навигации ИСЗ, обеспечивающих непрерывное решение задачи с необходимой точностью, основан на использовании спутниковых радионавигационных данных. Следует отметить, что методология проектирования аппаратуры спутниковой навигации космического базирования в настоящее время отсутствует не только в России, но и за рубежом. Таким образом, тема диссертационной работы Михайлова Н.В., посвященной повышению эффективности эксплуатации ИСЗ за счет автономного решения задачи навигации при помощи аппаратуры спутниковой навигации космического базирования, является актуальной.

### Оценка новизны.

Можно отметить следующие новые научные результаты, полученные в ходе подготовки работы.

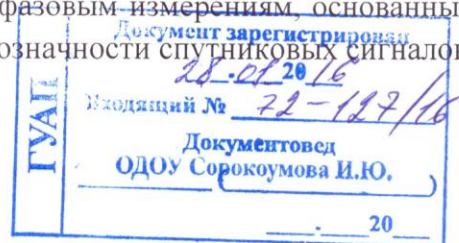
Разработана архитектура приемника спутниковой навигации, отличительная особенность которого заключается в динамически изменяемом количестве каналов коррелятора. Это позволило реализовать многоканальную обработку сигналов с использованием вычислительных средств с низкопроизводительным центральным процессорным устройством, что весьма актуально для ИСЗ.

Предложен метод поиска спутниковых сигналов, обеспечивающий возможность их обнаружения в условиях широкого диапазона изменения доплеровского смещения частоты при низком соотношении сигнал-шум, что характерно для решения задачи навигации для космических аппаратов.

Предложен метод слежения за задержкой огибающей и фазой несущей частоты спутниковых сигналов, обеспечивающий эффективное решение этой задачи при высоком уровне внутрисистемных помех.

Разработан метод вторичной обработки спутниковых сигналов, обеспечивающий эффективное решение навигационной задачи в условиях, характерных для ИСЗ, т.е. при невысоких требованиях к геометрическому расположению навигационных спутников относительно ИСЗ при наличии не более трех спутников.

Предложен метод относительной навигации по фазовым измерениям, основанный на оригинальном алгоритме разрешения фазовой неоднозначности спутниковых сигналов.



Достоинством работы является тот факт, что предложенные методы и алгоритмы не только подробно описаны, но сопровождаются методическими рекомендациями по их применению.

### **Практическая значимость.**

Следует констатировать, что полученные результаты в совокупности представляют собой методологию проектирования, которая может быть использована разработчиками бортовой аппаратуры для ИСЗ.

Убедительным подтверждением практической значимости работы является тот факт, что практически все разработанные алгоритмы реализованы в бортовой автономной навигационной аппаратуре Mosaic GNSS, которая успешно прошла летные испытания и в настоящее время находится в эксплуатации.

### **Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.**

Обоснованность научных положений, в первую очередь, подтверждается применением результатов в реализованной промышленной аппаратуре спутниковой навигации. Обоснованность результатов также подтверждена широким использованием научных работ отечественных и зарубежных авторов по теории поиска, обнаружения, фильтрации и оценивания сигналов, а также работ по прикладной астрономии и теории проектированию цифровой аппаратуры, представленных в весьма обширном библиографическом списке диссертации, включающем 188 источников (научная литература отечественных и зарубежных авторов, современные публикации в периодических изданиях и электронные ресурсы по теме диссертации).

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается обоснованностью вводимых предположений, системностью исследования, использованием современного математического аппарата и, что, пожалуй, является самым существенным - совпадением результатов расчетов и моделирования с данными экспериментов. При этом важно подчеркнуть, что анализ точности проводился, в том числе, и независимыми экспертами без участия разработчиков аппаратуры.

Вышесказанное позволяет сделать вывод об обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, и достоверности полученных результатов.

### **Рекомендации по использованию.**

Важно отметить, что все полученные результаты могут быть востребованы и успешно использованы не только разработчиками бортовой спутниковой аппаратуры для ИСЗ и космических аппаратов, но и учеными и инженерами, работающими над созданием приемной спутниковой аппаратуры применительно к другим подвижным объектам.

### **Оценка диссертационной работы в целом.**

Полученные в работе результаты являются значительным вкладом в развитие спутниковых навигационных технологий как в теоретической части, так и в области их практического применения. Эти результаты опубликованы в 46 публикациях, среди которых, в том числе 18 статей, включенных в перечень ВАК, патент на изобретение, две



зарегистрированные программы и 23 доклада на авторитетных международных и российских научных конференциях. Важно подчеркнуть, что Михайлов Н.В. является автором уникальной в своем роде монографии, посвященной обсуждаемой в диссертации теме и опубликованной в 2014 г.

Автореферат работы в целом адекватно отражает основные положения диссертации.

Все вышеизложенное позволяет констатировать, что диссертация Михайлова Н.В. представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решена имеющая важное хозяйственное значение крупная научная проблема повышения эффективности эксплуатации искусственных спутников Земли за счет решения навигационной задачи без участия наземных систем управления с использованием бортовой аппаратуры спутниковой навигации.

### **Замечания**

В качестве недостатков работы можно отметить следующие.

- 1) Во введении и заключении отмечается, что от внедрения СРНС на спутниках можно ожидать расширения спектра выполняемых задач, включая решение задач ориентации. Вместе с тем, в самой работе вопросы, связанные с возможностью решения задачи ориентации по данным СРНС, не обсуждаются.
- 2) В названии и цели работы указано, что решению подлежит задача автономной навигации космических аппаратов с использованием спутниковых радионавигационных систем. При этом отмечается, что при решении задачи автономной навигации наряду с информацией от навигационных спутников может быть привлечена информация от инерциальных измерителей. Представляется, что этому вопросу в работе следовало бы уделить большее внимание.
- 3) В работе целесообразно было бы привести более подробную математическую постановку решаемых задач обнаружения и оценивания, включающую, в том числе, описание входного и опорного сигналов, а также используемые предположения о свойствах помех. При отсутствии этой информации возникает ряд вопросов, например, почему квадратурные компоненты (с. 149) являются гауссовскими, что такое гипотеза  $H_0$ , а также вопросы, связанные в том числе и с используемыми терминами, в частности, такими как «оптимальное» обнаружение, «характеристики обнаружения» и т.д.

В целом, работа отличается грамотным изложением представляемого материала, хотя и здесь можно отметить некоторые замечания редакционного характера: излишнее количество аббревиатур, затрудняющее чтение излагаемого материала; на с. 20 присутствует фраза на английском языке с не понятным назначением; на с. 131 говорится о «неопустимых» затратах; не вполне понятен смысл фразы в конце с. 205. Отсутствие формульных зависимостей в автореферате зачастую затрудняет точное понимание описываемых там полученных результатов. В автореферате также целесообразно было бы в разделе «апробация результатов» указать название конференций (хотя бы основных), на которых были доложены результаты.

## Заключение

Несмотря на перечисленные выше замечания, диссертационная работа Михайлова Н.В. «Автономная навигация космических аппаратов с использованием спутниковых радионавигационных систем» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решена имеющая важное хозяйственное значение крупная научная проблема. Работа соответствует специальности 05.12.14 «Радиолокация и радионавигация» (технические науки), полностью отвечает критериям, изложенным в Положении №842 о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Михайлов Николай Викторович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.14 «Радиолокация и радионавигация».

Официальный оппонент,

начальник Научно-образовательного центра АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,  
доктор технических наук, профессор

Степанов Олег Андреевич

Подпись Степанова Олега Андреевича заверяю

Ученый секретарь АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,  
доктор технических наук



Ю.А. Литманович