

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по НРиИ ТУСУР

В.М. Рулевский

« » 2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Томский государственный университет систем управ-
ления и радиоэлектроники» (ТУСУР)

Диссертация «Синтез и исследование алгоритмов фильтрации радионавигационных параметров сигналов СРНС в системе навигации космического аппарата на геостационарной и высокоэллиптической орбитах» выполнена в ТУСУРе в научно-исследовательском институте радиотехнических систем (НИИ РТС).

Соискатель Шаврин Вячеслав Владимирович в 2016 году закончил обучение в аспирантуре ТУСУРа с представлением диссертационной работы.

Научный руководитель – Тисленко Владимир Ильич, д.т.н., профессор каф. РТС ТУ-СУР, главный научный сотрудник НИИ РТС ТУСУРа.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Шаврина Вячеслава Владимировича является научно-квалификационной работой, в которой выполнено исследование вопросов, связанных с решением важной научно-технической проблемы – повышение точности навигации космических аппаратов (КА) при полете на геостационарной и высокоэллиптической орбитах. Работа посвящена разработке оптимальных алгоритмов оценки радионавигационных параметров (РНП) для обеспечения расширения диапазона работы системы автономной навигации КА по уровню входных сигналов СРНС и повышения точности оценок параметров.

Актуальность темы исследований

Развитие космических систем и освоение космического пространства связано, прежде всего, с вопросами повышения точности позиционирования КА и повышением их автономности. В околоземном пространстве автономность космического аппарата от наземного сегмента может быть достигнута в том числе и с использованием навигации по сигналам спутниковых радионавигационных систем. Одним из важных факторов, влияющих на точность навигационного решения, является качество оценок РНП, принимаемых на борту сигналов. Таким образом, разработка и совершенствование методов и алгоритмов оценки параметров радиосигналов на борту космических аппаратов является **важной и актуальной задачей**.

Личное участие автора в получении результатов

Результаты диссертационной работы, сформулированные в положениях на защиту и составляющие научную новизну работы, получены автором лично. Вклад автора состоит в непосредственном участии в постановке задач, синтезе и исследовании алгоритмов оценки

радионавигационных параметров, выполнении математических и натурных экспериментов, обработке результатов измерений и их анализе. Соавторы по опубликованным работам принимали участие в обсуждении результатов, вносили предложения и замечания автору при написании программ для ЭВМ, помогали с организацией натурных экспериментов.

Результаты статистического моделирования схемы слежения за РНП в когерентном режиме, состоящей из корреляторов и нелинейного фильтра Калмана («бездискриминаторная» схема), представлены в работах автора [1, 2]. Результаты работы «бездискриминаторной» схемы слежения с применением адаптации по неизвестным начальным параметрам частично изложены в работах [3, 4]. В публикациях [5, 6] представлены результаты моделирования и экспериментальное применение «бездискриминаторной» некогерентной схемы слежения за РНП.

Степень достоверности результатов работы

Достоверность результатов теоретических и практических исследований подтверждена методами математического имитационного моделирования и экспериментально.

Научная новизна

1. Получены точностные характеристики оценок РНП и вероятностные характеристики событий «захват на сопровождение» и «срыв слежения» для алгоритмов оценки РНП при различных способах построения «бездискриминаторной» СС. Так же приведено сравнение полученных характеристик с соответствующими параметрами в следящей системе, состоящей из типовых дискриминаторов РНП и *линейного* фильтра Калмана. Проведено сравнение перспективных для применения в системе автономной навигации КА схем слежения.

2. Предложена схема слежения за РНП на основе корреляторов и нелинейного фильтра Калмана («бездискриминаторная») с использованием адаптации по неизвестным начальным параметрам, которая позволяет расширить рабочий диапазон схемы слежения по мощности обрабатываемого сигнала на 2-4 дБ.

3. Предложен алгоритм оценки РНП для «бездискриминаторной» СС, функционирующей в некогерентном режиме, с применением методов нелинейной марковской фильтрации.

Практическая и теоретическая значимость

1. Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные алгоритмы построения следящих фильтров в СС позволяют получать оценки РНП при функционировании НАП в условиях низкой энергетики, характерной для ГСО и ВЭО.

2. Результаты работы могут быть использованы при создании навигационной аппаратуры, как для космического, так и для наземного потребителя, рассчитанной на приём сигналов с BPSK и(или) BOC модуляцией.

3. Результаты данного исследования могут быть использованы для выбора схем слежения за РНП, при проектировании приёмной аппаратуры СРНС.

Ценность научных работ соискателя

Научная работа соискателя имеет высокую ценность. Она подтверждается публикациями результатов в рецензируемых журналах и сборниках трудов тематических конференций.

Результаты исследований использованы в следующем:

1. в АО «НПФ «МИКРАН» при выполнении НИР по проекту ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса Рос-

сии на 2014-2020 годы», соглашение № 14.574.21.0101 (уникальный идентификатор RFMEFI57414X0101), что подтверждается актом внедрения;

2. в учебном процессе на кафедре РТС ТУСУР в виде лабораторной работы по курсу «Системы глобального позиционирования GPS» специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы», профиль «Радиоэлектронные системы космических комплексов», что так же подтверждено актом внедрения.

Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа Шаврина Вячеслава Владимировича по своему содержанию соответствует специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация в двух областях исследований: «Разработка и исследование методов и алгоритмов обработки радиосигналов и извлечения из них информации при воздействии помех. Создание помехоустойчивых систем и устройств. Разработка методов защиты и разрушения информации в системах радиолокации и радионавигации» (п. 5 паспорта), «Исследование и разработка устройств радионавигации, в том числе космических, с целью повышения точности местоопределения объектов в пространстве, эффективности управления объектами и широкого использования радионавигационных устройств в народном хозяйстве» (п. 6 паспорта) и «Разработка методов синтеза и анализа, а также алгоритмов моделирования радиолокационных и радионавигационных систем» (п. 10 паспорта) по техническим наукам.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных автором

Основные результаты диссертационной работы представлены в 9 работах, из них 3 – в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертации, 4 – в изданиях, входящих в базу данных SCOPUS.

Статьи в журналах из перечня ВАК и базы данных SCOPUS

1. **Шаврин В.В.** Квазиоптимальная оценка параметров сигналов ГНСС в режиме когерентного приёма с использованием алгоритма сигма-точечного фильтра Калмана / Шаврин В.В., Тисленко В.И., Лебедев В.Ю., Конаков А.С., Филимонов В.А., Кравец А.П. / Гироскопия И Навигация. 2016. Т. 24. № 3 (94). С. 26-37.
2. **Shavrin V.V.** Quasioptimal Estimation Of Gnss Signal Parameters In Coherent Reception Mode Using Sigma-Point Kalman Filter / Shavrin V.V., Tislenko V.I., Lebedev V.Y., Konakov A.S., Filimonov V.A., Kravets A.P. Gyroscopy And Navigation. 2017. Т. 8. № 1. С. 24-30.
3. **Шаврин В.В.** Оценка радионавигационных параметров сигналов ГНСС в режиме когерентного адаптивного приема с использованием алгоритма сигма-точечного фильтра Калмана / Шаврин В.В., Тисленко В.И., Филимонов В.А., Лебедев В.Ю. / Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2016. Т. 3. № 4. С. 16-21.
4. **Shavrin V.V.** Analyzing A Joint Adaptive Algorithm In Coherent Mode For Filtering Radio-Navigation Parameters Of Gnss Signals In An Autonomous Space Navigation System / Shavrin V.V., Tislenko V.I., Filimonov V.A., Kravets A.P., Konakov A.S. / В Сборнике: 23rd Saint Petersburg International Conference On Integrated Navigation Systems, Icins 2016 - Proceedings 23. 2016. С. 527-531.
5. **Шаврин В.В.** Сигма-точечный алгоритм фильтра Калмана в задаче оценки параметров сигналов ГНСС в некогерентном режиме слежения в аппаратуре автономной нави-

гации космических аппаратов / Шаврин В.В., Тисленко В.И., Филимонов В.А., Лебедев В.Ю., Конаков А.С. / Гирскопия и навигация. 2018, № 3 (102). сс. 23-39.

6. **Shavrin V.V.** Sigma-Point Kalman Filter Algorithm in the Problem of GNSS Signal Parameters Estimation in Non-Coherent Tracking Mode in Spacecraft Autonomous Navigation Equipment/ Shavrin V.V., Tislenko V.I., Lebedev V.Y., Konakov A.S., Filimonov V.A. / Gyroscopy and navigation. 2018. № 4 (9). pp. 255-266.

7. Filimonov V.A. Coordinate and time-frequency support of a spacecraft flight by means of autonomicnavigation using sigma-point kalman filter algorithm / Filimonov V.A., **Shavrin V.V.**, Tislenko V.I., Kravets A.P., Lebedev V.Yu., Shkolniy V.N./ Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Математика и физика. 2015. Т. 8. № 4. С. 385-393.

Диссертация «Синтез и исследование алгоритмов фильтрации радионавигационных параметров сигналов СРНС в системе навигации космического аппарата на геостационарной и высокоэллиптической орбитах» Шаврина Вячеслава Владимировича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация.

Заключение принято на заседании совместного научного семинара кафедры радиотехнических систем и НИИ РТС ТУСУРа.

Присутствовало на заседании 16 чел, из них докторов наук – 2 чел., кандидатов наук – 8 чел. Результаты голосования: «за» – 12 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 4 чел., протокол № 18-5 от 31 мая 2018 г.

Председатель,
д.т.н., профессор, профессор каф. РТС

С.В. Мелихов

Секретарь,
к.т.н., с.н.с. НИИ РТС

Ф.Н. Захаров