

## ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук,  
Пудловского Владимира Борисовича  
на диссертацию Шаврина Вячеслава Владимировича  
«Синтез и исследование алгоритмов фильтрации радионавигационных параметров сигналов СРНС в системе навигации космического аппарата на геостационарной и высокоэллиптической орбитах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация».

Диссертация Шаврина В.В. посвящена вопросам разработки алгоритмов фильтрации радионавигационных параметров сигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС) для навигационной аппаратуры потребителя (НАП), предназначенной для работы на борту космического аппарата (КА) на геостационарной и высокоэллиптической орбитах. Условия работы НАП в составе высокоорбитальных КА имеют ряд особенностей, определяемых взаимным положением бортовой НАП и навигационных космических аппаратов (НКА) СРНС. Прежде всего, это снижение вероятности одновременного приема сигналов не менее четырёх навигационных КА (НКА), а также пониженная мощность радионавигационных сигналов относительно уровня, указанного в интерфейсном контрольном документе на СРНС. Возможность работы бортовой НАП по сигналам низкой мощности повышает вероятность непрерывного навигационного обеспечения КА на геостационарной (ГСО) и высокоэллиптической орбитах (ВЭО). По этой причине разработка схем слежения и фильтров оценки радионавигационных параметров (РНП) для НАП, способной функционировать в условиях низкой мощности принимаемых сигналов СРНС, является важной и *актуальной* задачей.

Цель диссертации В.В. Шаврина состоит в решении задачи синтеза алгоритмов совместной оценки радионавигационных параметров сигналов СРНС в следящем контуре приёмника системы автономной навигации в условиях движения КА на ГСО и ВЭО. Объектом исследования диссертационной работы определена следящая система (СС) за РНП, состоящая из корреляторов и нелинейного фильтра Калмана, условия её функционирования, статистические и вероятностные характеристики.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 111 наименований и одного приложения. Основная часть работы изложена на 190 страницах и содержит 110 рисунков.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, приведены сведения о научной новизне, практической значимости и определены основные положения, выносимые на защиту.

В главе 1 представлены результаты обзора литературы по теме оценивания РНП обрабатываемых сигналов в НАП. Выделены основные способы организации СС за РНП. Приведены результаты анализа условий



функционирования НАП для КА на высоких орбитах. Для дальнейшего исследования автор выбрал два основных типа СС с фильтром: СС «первого типа» в составе которой имеется коррелятор, дискриминатор, следящий *линейный* фильтр Калмана; а также СС «второго типа» в составе которой имеется коррелятор, следящий *нелинейный* фильтр Калмана. Считая схему слежения за РНП, обрабатывающей сигналы с выходов корреляторов в *нелинейном* фильтре Калмана, перспективной для НАП в составе КА, автор далее подробно исследует эту схему.

В главе 2 автор изложил результаты исследований по оценке РНП в когерентном режиме слежения. В главе представлены варианты построения схемы слежения за РНП «второго типа», в том числе с адаптацией по неизвестным начальным параметрам сигналов НКА и для формирования оценок РНП перспективных сигналов ГЛОНАСС с модуляцией  $BOC(1,1)$ .

В этой главе также представлены результаты математического моделирования работы СС как «первого», так и «второго» типов для широкого диапазона значений отношения сигнал/шум (ОСШ), начального рассогласования по оцениваемым параметрам и различного времени когерентного накопления. Методом моделирования на ЭВМ получены погрешности оценок РНП и оценки вероятностей событий «захват на сопровождение» и «срыв слежения» для СС «второго типа» с различными типами нелинейных фильтров, а также исследование влияния нестабильности опорного генератора на работу СС «второго типа» при малых значениях ОСШ.

Глава 3 посвящена вопросу применения СС с *нелинейным* фильтром Калмана для получения оценок РНП в некогерентном режиме слежения за параметрами сигналов НКА. Рассмотрены несколько вариантов построения некогерентной СС «второго типа». Для этих вариантов СС методом моделирования также получены погрешности оценок РНП и оценки вероятностей событий «захват на сопровождение».

В главе 4 соискатель представил методики экспериментальной проверки предложенных алгоритмов, исследуемых схем слежения, а также результаты экспериментов с использованием навигационного приемника, программная часть которого была доработана автором для реализации необходимых вариантов СС как «первого», так и «второго» типов в когерентном и некогерентном режимах слежения. В экспериментах сигналы НКА для обработки в доработанном приёмнике были получены как от типового генератора навигационных сигналов системы GPS, так и от приёмной антенны сигналов GPS открытого доступа.

Цель экспериментов состояла в подтверждении работоспособности алгоритма СС «второго типа» по записям реальных сигналов СРНС, а также в сравнительной оценке различий в качестве работы двух типов СС при регистрации процессов формирования оценок РНП по *сигналам одного и того же созвездия* НКА и при использовании общей высокочастотной части приёмного тракта.



В заключении приведены основные результаты, полученные в диссертации, и сформулированы выводы по работе в целом.

В приложении представлены копии актов о внедрении результатов работы В.В. Шаврина.

К наиболее существенным научным результатам диссертации, обладающими новизной, можно отнести:

- алгоритм оценки РНП в *некогерентном* режиме схемы слежения, в котором опорный сигнал формируется на основании оценок *нелинейного* фильтра, входными сигналами которого (наблюдениями) являются непосредственно выходы корреляторов;

- результаты исследований статистических характеристик оценок РНП и вероятностей событий «захват на сопровождение» и «срыв слежения» для разных алгоритмов оценки РНП, включая СС как «первого», так и «второго» типов.

К достоинствам диссертационной работы следует отнести:

- решение актуальной для практики задачи разработки алгоритмов для бортовой НАП в составе КА, работающей в сложных условиях приёма радионавигационных сигналов СРНС;

- исследование вариантов СС с использованием ряда новых нелинейных сигма-точечных фильтров (ансцентного фильтра и других) при низких ОСШ, характерных для приёма сигналов СРНС на высоких орбитах КА;

- экспериментальную проверку исследуемых вариантов алгоритмов СС с использованием программного навигационного приёмника, работающего по сигналам имитатора или по реальным сигналам СРНС.

В качестве существенных недостатков диссертационной работы необходимо выделить следующие:

1. В положениях, выносимых на защиту, как и в заключении диссертации, прямо не указаны результаты синтеза, который поставлен в качестве решаемой задачи данной работы.

2. Способ адаптации к неизвестным начальным параметрам сигнала, заявленный в качестве решаемой задачи данной работы, не указан в результатах и заключении диссертации.

3. В подразделе 2.1.2 «Алгоритм фильтрации» автором приведены только ссылки на главу 1. Отсутствует изложение алгоритма, как последовательности операций или действий по преобразованию информации.

4. Основные результаты в автореферате и тексте диссертации изложены в разной редакции: в тексте работы не указаны результаты синтеза алгоритмов, а в автореферате они приведены.

5. Не указаны принципиальные отличия от известных способов для предлагаемого алгоритма адаптации к неизвестным начальным параметрам сигнала для исследуемой схемы СС.

6. Сравнение СС с использованием предлагаемых алгоритмов с *нелинейными* фильтрами и известных схем слежения с дискриминаторами и линейным динамическим фильтром представляется не совсем корректным по



причине априорно большей погрешности линейной аппроксимации при понижении ОСШ.

7. Проверка качества работы СС в НАП с использованием сигналов имитатора и реальных НКА была сделана для предлагаемых алгоритмов только путем сравнения с одним вариантом СС «первого типа» на основе *линейного* фильтра Калмана и без сравнения с другими известными вариантами нелинейной фильтрации, например ансцентного фильтра.

8. Ряд формул, например (1.1), переписаны с ошибками относительно первоисточников.

9. При описании и названии разных типов алгоритмов автор часто использует названия на английском языке. Кроме того, для одного и того же типа алгоритма схемы слежения за РНП используются названия как на русском, так и на английском языке. Всё это затрудняет понимание диссертационной работы.

Несмотря на отмеченные недостатки, в целом диссертация соискателя В.В. Шаврина представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, направленную на решение актуальной задачи в области разработки алгоритмов схем слежения за РНП в НАП СРНС.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит положения, выносимые на защиту, а также обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития навигационного обеспечения КА на ГСО и ВЭО. Представленные в диссертации результаты подтверждены математическим моделированием и экспериментальными исследованиями.

Результаты проведенных исследований внедрены и использованы в АО «НПФ «Микран» и в учебном процессе ТУСУР, что подтверждено соответствующими актами.

По теме диссертации соискателем опубликовано печатных 7 работ: 3 статьи в журналах из перечня ВАК (2 переведены на английский язык), 1 в сборнике докладов международной конференции, 3 в сборниках докладов всероссийских конференций. 4 работы содержатся в изданиях, индексированных в базе данных Scopus.

Личное участие автора в результатах совместных работ отражено подробно.

Автореферат в целом правильно отражает основные результаты и содержание диссертационной работы.

### **Выводы**

На основании изучения диссертации, автореферата и научных статей, опубликованных автором по теме диссертации, можно сделать следующие выводы:

1. Работа соответствует специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация».

2. Диссертационная работа «Синтез и исследование алгоритмов фильтрации радионавигационных параметров сигналов СРНС в системе навигации космического аппарата на геостационарной и



высокоэллиптической орбитах» является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная и практически важная задача по разработке новых алгоритмов оценки радионавигационных параметров сигналов спутниковых навигационных систем. Работа удовлетворяет критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

3. Диссертант Шаврин Вячеслав Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация».

Официальный оппонент:

старший научный сотрудник НИО-8 ФГУП «ВНИИФТРИ»  
Российская Федерация, 141570, Московская область, Солнечногорский район, г.п. Менделеево, тел.: (495) 526-63-75

Электронная почта: [pudlovskiy@vniiftri.ru](mailto:pudlovskiy@vniiftri.ru)

Дата 25 ноября 2019 года

к.т.н.



Пудловский Владимир Борисович

Подпись В.Б. Пудловского удостоверяю.

Начальник отдела кадров ФГУП «ВНИИФТРИ»:

  
О.А. Лобова

