

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.268.04 НА БАЗЕ
ФГБОУ ВО «ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» МИНОБРНАУКИ РФ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 20.12.2019 г. № _187_

О присуждении Шаврину Вячеславу Владимировичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Синтез и исследование алгоритмов фильтрации радионавигационных параметров сигналов СРНС в системе навигации космического аппарата на геостационарной и высокоэллиптической орбитах» по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация принята к защите 20.09.2019, протокол № 168, диссертационным советом Д 212.268.04 на базе ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (634050, Томск, пр. Ленина 40, приказ о создании совета № 1030/нк от 30.12.2013 г.).

Соискатель Шаврин Вячеслав Владимирович 1988 года рождения, в 2012 году окончил ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», в 2016 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре в ФГБОУ ВО «ТУСУР» и работает младшим научным сотрудником в НИИ радиотехнических систем ФГБОУ ВО «ТУСУР».

Диссертация выполнена в НИИ радиотехнических систем ФГБОУ ВО «Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор кафедры радиотехнических систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, профессор Тисленко Владимир Ильич.

Официальные оппоненты:

Михайлов Виктор Фёдорович, доктор технических наук, профессор ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»;

Пудловский Владимир Борисович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт физи-

ко-технических и радиотехнических измерений»).

Ведущая организация – ФГАОУ «Сибирский федеральный университет» г. Красноярск, в своем положительном заключении, подписанном заведующим кафедрой радиотехники, кандидатом технических наук, профессором Саломатовым Ю.П. и доктором технических наук, профессором кафедры радиотехники Кашкиным В.Б., указала, что диссертация В.В. Шаврина представляет собой цельную законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для космической отрасли, а также изложены научно обоснованные результаты исследований, полезные для проектирования навигационной аппаратуры различного назначения. Диссертация Шаврина Вячеслава Владимировича отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация.

Соискатель имеет 19 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 7 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 4 работ. Все статьи Шаврина В.В. опубликованы в соавторстве.

На диссертацию и автореферат поступило 15 отзывов:

1. Отзыв от ведущий ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет (СФУ)», подписанный заведующим кафедрой радиотехники, кандидатом технических наук, профессором Саломатовым Ю.П., профессором кафедры радиотехники, доктором технических наук Кашкиным В.Б. Отзыв утверждён проректором по научной работе Р.А. Барышевым.

Замечания по диссертационной работе в целом:

1. Сравнение исследований автора статистических характеристик оценок РНП в нелинейном следящем фильтре, реализующем квазиоптимальный алгоритм сигма-точечного фильтра Калмана с использованием в качестве входных данных сигналов с выходов коррелятора, с данными недавней работы Перова А.И. «Сравнительный анализ двух алгоритмов фильтрации параметров навигационного радиосигнала малой мощности» / Радионавигационные технологии – М.: Радиотехника, 2019. №8. сс 9 – 19 выполнено недостаточно убедительно.

Не совсем ясно, что обуславливает преимущество, разработанного алгоритма малых значений уровня С/Ш по сравнению с алгоритмом, предполагающим наличие в контуре слежения сосредоточенных оптимальных дискриминаторов с последующей оптимальной фильтрацией сигнала дискриминаторов в петлевом линейном фильтре.

2. Во второй главе работы, для сравнения качества работы схем слежения различных архитектур, автор использует такую величину как «предельная точность фильтрации». Однако уже в третьей главе эта характеристика отсутствует. Возникает вопрос о качестве полученных точностных характеристик.

3. В четвёртой главе представлены результаты обработки экспериментальных данных. При этом сравнение результатов работы схем слежения носит только качественный характер. В результате остается открытым вопрос о правомерности выводов, сделанных по результатам экспериментов.

4. Приведённые результаты экспериментальных исследований относятся к обработке записанных сигналов СРНС наземного потребителя. Работа же автора направлена на улучшение характеристик бортовой навигационной аппаратуры. Необходимо разъяснения о возможности применения выводов, полученных в результате проведённых экспериментальных исследований, для использования в САН.

2. Отзыв из Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП)», подписанный профессором кафедры медицинской радиоэлектроники, доктором технических наук, профессором, Михайловым Виктором Фёдоровичем. Отмеченные недостатки:

1. Введенные автором понятия следящей системы первого и второго типов не являются техническими обоснованными и могут вызвать терминологическую путаницу. Автор корректно указывает, что архитектура приемников может быть разделена на двухэтапную (scalar-based) и одноэтапную (vector-based). Также корректно описаны классическая схема слежения, в которой каждый канал слежения содержит дискриминатор с последующим сглаживающим фильтром, и бездискриминаторная схема, в которой дискриминатор и сглаживающий фильтр заменены (не-

линейным) фильтром Калмана. Далее для последней схемы используются в произвольном порядке следующие термины: correlation based KF tracking loop, бездискриминаторная схема, схема слежения с нелинейным фильтром, схема следящей системы «второго типа». Заметим, что в литературе под бездискриминаторной схемой часто подразумевается одноэтапная обработка. Все вышесказанное вызывает проблемы в понимании того, какую задачу решал автор.

2. Несмотря на то, что результаты экспериментов убедительно показали преимущества разработанных алгоритмов и методов по сравнению со стандартными (дискриминаторными) схемами слежения, из материалов диссертации неочевидно, о каком потребителе идёт речь в разделе 4.1 диссертации – о высокодинамичном космическом или, например, о статическом наземном

3. В дальнейшей проработке нуждается вопрос реализации предложенных алгоритмов на борту космических аппаратов, требований на вычислительную мощность процессоров, объём памяти для исполнения программ, и т.п.

4. Допущена некоторая избыточность материала описательного характера. Учитывая общий размер диссертационной работы (более 180 страниц), следовало бы сократить описание известных методов фильтрации.

3. Отзыв из Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений», подписанный старшим научным сотрудником, кандидатом технических наук Пудловским Владимиром Борисовичем. Замечания:

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 ансамблевого 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.

4. Отзыв из Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ", подписанный доктором технических наук, профессором Перовым Александром Ивановичем. Замечания:

1. В названии диссертационной работы декларируется «Синтез ... алгоритмов фильтрации ...». В тексте диссертации п. 2.1 называется «Синтез нелинейного фильтра в когерентном режиме работы системы слежения за РНП «второго типа». Статистический синтез предполагает:

- статистическое описание постановки задачи;
- описание используемого или предлагаемого метода синтеза;

- проведение самой процедуры синтеза;
- описание итогового результата синтеза – синтезированного алгоритма обработки.

Однако в соответствующих разделах 2.1 никакого синтеза нет, нет «синтезированных нелинейных фильтров (алгоритмов)».

В тексте диссертации п 3.1 называется «Синтез нелинейного фильтр в некогерентном режиме работы системы слежения за РНП «второго типа». Однако в разделе никакого синтеза нет, нет «синтезированного нелинейного фильтра (алгоритма)». В Заключении по диссертации автор не пишет, что им синтезирован какой-либо алгоритм фильтрации радионавигационных параметров сигналов СРНС. Учитывая сказанное, можно констатировать, что название диссертации не соответствует ее содержанию.

Отмечу также, что в одной из опубликованных автором работ не описаны какие-либо новые синтезированные алгоритмы фильтрации.

2. Цель диссертации (стр. 3) «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». «Решение какой-либо задачи» не может служить целью диссертации. Цель – формулировка проблемы, которую автор должен решить в диссертации. Если автор видит основную проблему в методах синтеза алгоритмов обработки, то в диссертации должно быть представлено то или иное решение этой проблемы. Но в тексте диссертации отсутствуют какие-либо материалы, описывающие решение этой проблемы. В Заключении по диссертации автор не пишет, как им решена поставленная цель, то есть какие новые методы синтеза или новые синтезированные алгоритмы совместной оценки радионавигационных параметров сигналов СРНС им предложены. Учитывая сказанное, можно констатировать, что цель, поставленная в диссертации, не достигнута.

3. Автор часто использует в диссертации зарубежную терминологию, например «correlation based Kalman filter», «correlation based KF tracking loop» и др., перевод на русский язык которой, он трактует достаточно вольно, а часто и неправильно. Например, на стр. 74 «correlation based KF tracking loop» он трактует как «без-

дискриминаторная следящая система». В оригинальных зарубежных статьях на эту тему нигде не говорится, что это - «бездискриминаторная следящая система». И такой перевод и трактовка автора в принципе не верна.

4. Автор докладывал материал диссертации на заседании кафедры Радиотехнических систем «Национального исследовательского университета «МЭИ» в 2018г. В диссертации на рис. 2.1 приведена схема следящей системы за параметром λ радиосигнала, которую автор называет «бездискриминаторной» и утверждает, что в ней нет дискриминатора по параметру λ . На обсуждении материалов в «НИУ «МЭИ» автору было указано, что это неправильная трактовка следящей системы. В ней есть дискриминатор по параметру λ . Просто он имеет другое описание, отличное от известных. Из курса «Радиоавтоматика» известно, что любая следящая система (в том числе и радиотехническая) содержит дискриминатор, процесс (сигнал) на выходе которого зависит от рассогласования между истинным значением параметра λ , за которым ведётся слежение, и его оценкой $\hat{\lambda}$, формируемой в следящей системе (см. Первачев С.В. Радиоавтоматика. Учебник для вузов, 1982; Перов А.И., Замолодчиков В.Н., Чиликин В.М. Учебник для вузов, 2014). Именно из этого сигнала, в следящей системе извлекается информация о том, как надо управлять оценкой $\hat{\lambda}$. Если в системе нет этого сигнала, то она и не будет следить за изменениями этого параметра. Поэтому, упорство автора на том, что в рассматриваемой им следящей системе, приведённой на рис. 2.1 (и аналогичных систем далее по тексту диссертации), дискриминаторов нет является глубоким заблуждением. А если более конкретно – грубой ошибкой. Автор отзыва дважды посылал соискателю по электронной почте материалы с иллюстрацией этих положений, но он их проигнорировал.

5. Тридцать страниц текста диссертации (стр. 43 -73) по общим методам и алгоритмам фильтрации переписаны с учебников (и статей), не являются оригинальными результатами автора и просто не нужны в диссертации.

6. В гл. 2, 3 автор приводит результаты моделирования 6 следящих систем с иностранной аббревиатурой типа «UKF, SKF, GNKF» и т.д. При этом в тексте диссертации не описан ни один из 6 алгоритмов данных следящих систем и нет пара-

метров этих следящих систем. Таким образом, имеем 6 «чёрных ящиков», на которые подали навигационные сигналы, а на выходе получили оценки параметров принятых радиосигналов. Автор сравнил эти оценки и сказал, что для одного «чёрного ящика» они лучше, а для другого хуже. Ни и что из этого следует? С точки зрения научного исследования – из этого ничего не следует. В лучшем случае – это инженерная работа. Возьмите ещё 10 «чёрных ящиков» и посмотрите, что они дадут. Попытки автора отзыва получить математическое описание какого-либо из этих алгоритмов обработки не увенчались успехом. Но автор в диссертации из приведённых результатов моделирования делает общий вывод, что его «бездискриминаторная следящая система» имеет лучшие характеристики, чем известные следящие системы. На это я могу лишь констатировать, что приведённые в диссертации результаты и выводы недостоверны и вводят читателей в заблуждение. С целью налаживания диалога с соискателем по этому вопросу мною был проведён синтез двух алгоритмов фильтрации вектора состояний фильтруемого процесса, принятого автором и описываемого системой уравнений (2.1) по критерию минимума дисперсии ошибки фильтрации вектора состояния. В одном из алгоритмов синтез проводился для наблюдений принимаемого радиосигнала в дискретные моменты времени (классический подход по терминологии соискателя, который он критикует). Во втором подходе наблюдениями при синтезе являются отсчёты 6 корреляторов (по два центральных, опережающих и запаздывающих) – подход, который соискатель пропагандирует как «бездискриминаторный» и лучший по характеристикам точности по сравнению с классическим подходом. В результате синтеза получены алгоритмы обработки и их параметры. Приведены результаты анализа точности фильтрации параметров радиосигнала в этих алгоритмах. В результате анализа показано, что оба синтезированных алгоритма содержат дискриминаторы фазы и задержки, но разные по своей структуре. Показано также, что характеристики точности фильтрации фазы, доплеровского смещения частоты и задержки в них одинаковые. Материалы синтеза, полученные алгоритмы и результаты анализа опубликованы в статье [Перов А.И. «Сравнительный анализ двух алгоритмов фильтрации параметров навигационного радиосигнала малой мощности». Научно-технические серии. Серия «Радиосвязь и радионавигация». Радионавига-

ционные технологии. М.: Радиотехника, 2019. №8. сс 9 – 19] (вышла «в свет» в марте 2019 г.). Соискателю была выслана копия этой статьи. Но соискатель никак не отреагировал, кроме включения в список литературы по диссертации.

Отмечу, что тезис о том, что два описанных выше метода синтеза алгоритмов фильтрации (использование наблюдений непосредственно отсчётов радиосигнала и отсчётов корреляторов, представляющих собой линейное преобразование принимаемых отсчётов радиосигнала) приводит к алгоритмам, обеспечивающих одинаковую точность фильтрации параметров радиосигнала, известен давно (см., например, Тихонов В.И., Харисов В.Н. статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991). И этот тезис у специалистов по теории оптимальной фильтрации не подвергается сомнению. Если автор рецензируемой диссертации решил это опровергнуть, то это надо делать очень тщательно, с необходимой математикой, прозрачными расчётами и т.д. А не просто с использованием «чёрных ящиков».

Учитывая сказанное, результаты моделирования когерентных и некогерентных алгоритмов, приведённые в диссертации, считаю научно не обоснованными (нет алгоритмов) и недостоверными (противоречат известным опубликованным результатам).

7. На стр. 21 диссертации автор приводит формулы (1.4.) для средних значений отсчётов на выходах корреляторов, ссылаясь на литературные источники [1,8]. Эти формулы автор использует далее, как он утверждает, при синтезе алгоритмов фильтрации. Прежде всего, отмечу, что в [1, 8] таких формул нет. Формулы (1.4) просто неверны, так как в них используется множитель $10^{q_k/10}$, где $q_k = P_{c,k} / N_0$ - имеет размерность $[с^{-1}]$, что определено на стр. 20 диссертации. Более того, эти формулы не описывают среднее значение отсчётов I_k и Q_k для принятой автором схемы корреляционной обработки, приведённой на рис. 1.1 (стр. 20), а также для схем, приведённых на рис. 1.4, 1.5, 2.1, 2.17. Другим фактором, определяющим неправомочность использования формул (1.4), является то, что она не описывает среднее значения отсчётов корреляторов для принятой автором модели изменения

фазы радиосигнала (2.10), (2.12). Резюме: формулы (1.4) ошибочны, а, следовательно, и все результаты, полученные с их использованием – ошибочные.

8. Формула (1.1) на стр. 18 диссертации неверна, т.к. неправильно описывает полную фазу радиосигнала при изменяющемся во времени доплеровском смещении частоты.

9. Существенным недостатком работы является то, что автор приводит результаты моделирования без детального описания условий, для которых они получены. Это не позволяет адекватно оценить достоверность полученных результатов. Приведу пример. На графиках рис. 2.6. приводятся зависимости среднеквадратических погрешностей оценки задержки огибающей при приёме радиосигнала ГЛОНАСС с модуляцией BPSK (радиосигналы с частотным разделением). На графиках рис. 2.33 а) приводятся зависимости среднеквадратических погрешностей оценки задержки огибающей при приёме радиосигнала ГЛОНАСС с модуляцией ВОС(1,1) (радиосигналы с кодовым разделением). Из сравнения данных зависимостей следует, что они отличаются не более чем на 20-30 %. Известно, что точность оценки задержки огибающей радиосигнала существенно зависит от полосы занимаемых частот радиосигналом. У рассматриваемого радиосигнала с модуляцией BPSK она составляет ~ 1 МГц, а у рассматриваемого радиосигнала с модуляцией ВОС(1,1) она составляет ~ 4.096 МГц, то есть в 4 раза больше. Поэтому, среднеквадратическая погрешность оценки задержки огибающей при приеме радиосигнала с модуляцией ВОС(1,1) должна быть существенно (примерно в 3 раза) меньше, чем при приёме радиосигнала ГЛОНАСС с модуляцией BPSK. Для этого (для повышения точности измерений) в системе ГЛОНАСС и вводятся новые радиосигналы с кодовым разделением. Приведённые факты ещё раз говорят о том, что приведённые в диссертации результаты моделирования и сделанные из них выводы нельзя считать достоверными.

10. При проведении исследований автор не учитывает флуктуации частоты опорного генератора навигационного приёмника, что, как правило, приводит к недостоверным результатам при малых полосах пропускания следящих систем приёмника. Так, например, из рис. 3.11 можно сделать качественный вывод о том, что полоса пропускания следящей системы за частотой радиосигнала составляет ~ 0.02

Гц (время переходного процесса 50 с). Но при такой полосе пропускания динамические ошибки, обусловленные флуктуациями частоты опорного генератора, будут превалировать над всеми другими ошибками. Поэтому такие полосы пропускания в следящих системах за частотой радиосигнала не используются на практике.

11. В диссертации подрисуночные подписи выполнены на иностранном языке, что считаю недопустимым для диссертаций, представляемых российскими соискателями.

5. Отзыв из ВУНЦ ВВС "Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина", подписанный старшим научным сотрудником, кандидатом технических наук, доцентом Сорокиным А.Д. Замечания:

1. В автореферате не показано влияние на навигационные измерения геометрических факторов и условий распространения радиоволн, обусловленных расположением навигационных спутников и аппаратуры потребителей космических аппаратов на геостационарной и высокоэллиптической орбитах, и , отличающихся от штатных условий использования действующих СРНС.

2. В публикациях по теме диссертации отсутствуют работы, выполненные без соавторов.

6. Отзыв из АО «Российские космические системы"», подписанный заместителем начальника отделения 74 разработки перспективной аппаратуры навигации, доцентом, кандидатом технических наук Бакитько Рудольфом Владимировичем и ведущим инженером-исследователем отдела 7404, кандидатом технических наук Ткачевым Александром Борисовичем. Отмеченные недостатки:

1. Не приведено сравнение вычислительных затрат при работе схем слежения «первого» и «второго» типов.

2. В автореферате рисунок 12 сложно разобрать из-за плохого контраста.

7. Отзыв из Московского государственного технического университета гражданской авиации, подписанный кандидатом технических наук, профессором Кудиновым Александром Тимофеевичем. Замечаний нет.

8. Отзыв из АО «УПКБ «Деталь», подписанный начальником отдела 130, доктором технических наук Нестеровым М.Ю., начальником отдела 240, доктором

технических наук Киреевым С.Н. и ведущим конструктором отдела 240 Васиным А.А. К автореферату имеются следующие замечания:

1. В работе нет указания на методику оценки эффективности синтезированных алгоритмов в натурных испытаниях для случая высокоорбитального космического аппарата.

2. В автореферате не обоснован выбор параметров спектра при моделировании неустойчивости опорного генератора.

3. Автор не затронул вопрос неизбежного увеличения вычислительной нагрузки при реализации синтезированных алгоритмов. В дальнейшей работе рекомендуется рассмотреть возможность разработки специализированного вычислителя.

9. Отзыв из АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт имени академика А.И. Берга», подписанный начальником отдела, кандидатом технических наук Сыроеловым Ефимом Мироновичем. Замечания:

1. В легенде к рисункам 9 и 10 не пояснены подписи к графикам.

2. В автореферате на странице 10 присутствует неверная ссылка на формулу.

10. Отзыв из АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», подписанный ведущим научным сотрудником, доктором технических наук Кошаевым Дмитрием Анатольевичем. По автореферату имеются следующие замечания:

1. Не указано, по какому критерию при проведении экспериментов фиксировались факты захвата сигнала и срыва слежения за сигналом.

2. О срывах слежения говорить лишь по двоичной системе - есть срывы/нет срывов – статистика не приводится.

3. Не сказано, насколько достоверными будут признаки захвата/срыва слежения, вырабатываемые при использовании разработанных алгоритмов - каковы вероятности ошибок первого и второго рода для таких признаков?

4. Почему-то явно не сказано, что относится к параметрам ϑ (записанным в (3), (4)), гипотезы о значениях которых подлежат определению. Судя по всему, ϑ - это начальная фаза. Но однозначности здесь нет, так как сначала говорится о параметрах во множ. числе.

5. При рассмотрении результатов моделирования многоальтернативного алгоритма не ясно, как гипотезы ϑ_i о возможном значении начальной фазы располагались относительно истинного значения ϑ . Если одна из гипотез совпадает с истинным значением – это наиболее благоприятная ситуация, если истинное значение находится посередине между двумя гипотезами – наименее благоприятная. Возможно случайное расположение истинного значения фазы между гипотезами. Расположение гипотез может оказывать существенное влияние на результат.

6. Не разъясняется, что такое А и В в обозначениях линий на рис. 9, 10.

11. Отзыв из «Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», подписанный профессором кафедры Радиотехнических систем, доктором технических наук Ипатовым В.П. К автореферату сделаны следующие замечания:

1. Авторская классификация контуров слежения по признаку наличия либо отсутствия дискриминаторов вряд ли рациональна, поскольку сигнал рассогласования должен вырабатываться в любой замкнутой петле, а значит, присутствие того или иного дискриминатора неизбежно.

2. То, что автор именует отношением сигнал-шум в источниках по спутниковой радионавигации закрепилось под названием «энергопотенциал». Смещение этих понятий нежелательно, так как отношение сигнал-шум должно сопровождаться указанием полосы, в которой оно измеряется. Энергопотенциал же жестко определяется как отношение сигнал-шум в полосе 1 Гц.

3. На с.18 реферата используется гауссовская аппроксимация райсовской плотности вероятности, по существу линеаризующая задачу синтез фильтра некогерентной петли, что расходится с продвигаемым приоритетом нелинейного фильтр Калмана.

12. Отзыв из АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф.Решетнева, подписанный действительным членом Российской и Международной инженерных академий, заслуженным инженером России, заслуженным создателем космической техники, лауреатом премий Правительства РФ, доктором технических наук, профессором Головёнки-

ным Евгением Николаевичем, Главным специалистом отделения разработки космических комплексов (систем) координатно-метрического назначения, наземных комплексов управления и баллистического обеспечения, доктором технических наук Гречкосеев Александр Кузьмич, Инженером первой категории Кратом Никитой Михайловичем. К автореферату имеются следующие замечания:

1. Указанная в автореферате причина расширения динамического диапазона мощности сигналов на ГСО и ВЭО - работа по боковым лепесткам диаграммы направленности антенной системы навигационного КА, не является основной. Основными причинами являются увеличение расстояния, которое проходят сигналы от навигационных КА до КА-носителя САН, а также работа САН по сигналам, принимаемым с области ската главного лепестка диаграммы направленности антенной системы навигационного КА.

2. Не приведено сравнение вычислительных затрат при работе синтезированных схем слежения двух типов.

3. В автореферате рисунок 12, во-первых, сложно разобрать из-за плохого контраста. Во-вторых, из описания к рисунку не понятно, что автор хотел им продемонстрировать. Не приведена максимальная длительность пропадаания сигнала, при которой схемы слежения всё еще способны формировать оценки РНП.

13. Отзыв из ФГАОУ ВО «Севастопольского государственного университета», подписанный заведующим кафедрой «Радиоэлектроники и телекоммуникации», доктором технических наук, профессором Афоным Игорем Леонидовичем. Отмечены следующие замечания:

1. В автореферате не прокомментирован выбор величин СПМ S_f и S_g при моделировании неустойчивости опорного генератора.

2. В автореферате отсутствует анализ вычислительных затрат при реализации исследуемых систем слежения. Стоит понимать, что положительные аспекты применения предлагаемых в диссертации алгоритмов слежения «второго типа», достигаются за счёт усложнения вычислительной части. При проектировании аппаратуры космического назначения данный аспект является существенным.

3. на странице 10 присутствует неверная ссылка на формулу.

4. Рисунок 12 очень сложно разобрать из-за плохого контраста.

14. Отзыв из ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП)», подписанный профессором кафедры «радиотехнических систем», доктором технических наук Монаковым А.А. Выделены следующие замечания:

1. В автореферате слабо отражены те особенности систем слежения, которые должны следовать из характера движения космического аппарата. В названии работы чётко прописано, что объектом навигации являются космические аппараты, находящиеся на геостационарной и высокоэллиптической орбитах. Очевидно, что модели движения таких объектов имеют весьма специфический характер, который должен определять вид уравнений, описывающих динамику изменения вектора состояний. Как раз этого в автореферате и нет: данные уравнения просто постулируются без всякого обсуждения и объяснений. В итоге создаётся впечатление, что единственной особенностью предлагаемых алгоритмов является их способность работать при малых отношениях сигнал/шум.

2. Не ясно, зачем в уравнении (1) в автореферате введены две переменные вектора состояний x_1 и x_5 , которые линейно зависимы.

3. В уравнении (5) введён «БГШ по частоте ξ_ϕ ». Введение этого шума нарушает связь производной по времени от фазы и мгновенной частоты.

4. Графики на рисунках в автореферате лишены соответствующих пояснений, из-за чего достаточно сложно понять, какая кривая какой следящей системе соответствует.

15. Отзыв из АО «НИИ «Вектор», подписанный главным специалистом первой категории, кандидатом физико-математических наук Яшином Геннадием Юрьевичем. Отмечены следующие замечания:

1. В легенде к рисункам 9 и 10 приведены подписи к графикам. При этом значения некоторых из этих подписей не пояснены в автореферате.

2. В автореферате не прокомментирован выбор величин СПМ S_f и S_g при моделировании нестабильности опорного генератора.

3. Раздел «основные результаты работы» скорее напоминает отчёт о процессе, чем сводку результатов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей **организации** обосновывается, тем, что оба оппонента д.ф.-м.н. Михайлов В.Ф. и к.т.н. Пудловский В.Б. компетентные специалисты в области радионавигации и спутниковых навигационных систем. Область их научной деятельности и публикации близки к теме диссертационной работы и они оба, после ознакомления с диссертацией, дали согласие на оппонирование. Ведущая организация – Сибирский федеральный университет, также согласилась дать отзыв на диссертационную работу Шаврина В.В., а его Институт инженерной физики и радиоэлектроники известен исследованиями в области радиолокации и радионавигации. Таким образом, уровень компетентности официальных оппонентов и ведущей организации достаточен для оценки научной и практической ценности диссертационной работы Шаврина В.В.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны: некогерентная схема слежения за параметрами радионавигационных сигналов, обрабатывающая отсчёты на выходе корреляторов в нелинейном фильтре Калмана; когерентная схема слежения с адаптацией по неизвестным начальным параметрам радиосигнала;

предложены: методы формирования оценок радионавигационных параметров на основе непосредственной обработки сигналов корреляторов в нелинейном сигма-точечном фильтре Калмана в системе навигации космического аппарата и использование нескольких параллельных фильтров для адаптации к неизвестным начальным параметрам навигационного сигнала;

доказана перспективность применения схем слежения за радионавигационными параметрами с использованием нелинейных фильтров для обработки сигналов на выходах корреляторов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана: возможности оценки параметров навигационных сигналов при значении энергопотенциала порядка 10 дБГц при известном знаке цифровой информации и времени когерентного накопления 20 мс; возможности оценок задержки, доплеровского смещения частоты, скорости изменения частоты и энергопотенциала для сигнала вплоть до 17 дБГц при неизвестном знаке цифровой информации ;

применительно к проблематике диссертации результативно **использованы** современные методы теории марковской нелинейной фильтрации и методы статистической обработки измерений;

изложена идея применения системы слежения за перспективными сигналами СРНС ГЛОНАСС с модуляцией ВОС(1,1) с использованием нелинейного фильтра Калмана.

раскрыты особенности функционирования схем слежения с обработкой отсчётов корреляторов в нелинейном фильтре Калмана, связанные с моделью наблюдений и отсутствием прямых измерений параметров навигационного сигнала;

изучены особенности изменения во времени отношения мощности принимаемых сигналов к спектральной плотности мощности собственного шума приёмника в полосе 1 Гц для космических аппаратов на геостационарной и высокоэллиптической орбитах.

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

разработан и внедрен программный комплекс моделирования процессов позиционирования космического аппарата с системой автономной навигации, в которой применяются алгоритмы слежения за параметрами радиосигналов с обработкой отсчётов корреляторов в нелинейном фильтре Калмана.

определены границы применимости предложенных методов, в частности, установлены минимальные значения отношения сигнал/шум, при которых сохраняется слежение;

создана математическая модель когерентной системы слежения за навигационными параметрами радиосигнала, обрабатывающая отсчёты корреляторов в нелинейном сигма-точечном фильтре Калмана с адаптацией по неизвестным начальным параметрам.

представлены предложения и рекомендации по применению схем слежения с обработкой сигналов корреляторов в нелинейном фильтре в навигационной аппаратуре космического потребителя.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты работы схемы за радионавигационными параметрами получены на сертифицированном оборудовании; в лабораторных условиях показана высокая воспроизводимость результатов;

теория построена на использовании оптимальной байесовской оценки неизвестных параметров и дает удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными;

идея базируется на анализе материалов, опубликованных в периодических изданиях;

использованы известные методы адаптации к неизвестным параметрам как основа для разработки адаптивной схемы слежения;

установлено, что полученные теоретические результаты согласуются с результатами других исследователей и в ряде случаев являются их уточнением или обобщением;

использованы современные достижения марковской теории нелинейной фильтрации.

Личный вклад соискателя состоит в создании программ для проведения имитационного моделирования, проведении имитационного моделирования, организации и проведении экспериментальных исследований. Автором лично предложена некогерентная схема слежения. Автором самостоятельно выдвинуты защищаемые научные положения, сделаны выводы по результатам исследования и даны рекомендации по применению схем слежения.

На заседании 20.12.2019 года диссертационный совет принял решение присудить Шаврину Вячеславу Владимировичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.12.14, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – 0 человек, проголосовали: за – 18, против – 3, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета Д 212.268.04,

доктор физико-математических наук, профессор  С.М. Шандаров

Учёный секретарь диссертационного совета Д 212.268.04,

доктор технических наук, профессор  Ю.П. Акулиничев

“ 20 ” декабря
(печать ТУСУР)

