

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.01

Соискатель: Бабурин Антон Александрович

Тема диссертации: «Методика высокоточного абсолютного местоопределения потребителя с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений сигналов ГЛОНАСС»

Специальность: 2.2.16. «Радиолокация и радионавигация» (технические науки)

Решение диссертационного совета по результатам защиты:

на заседании 17 сентября 2024 года, протокол № 9, диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным положением «О присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, и принял решение присудить Бабурину Антону Александровичу учёную степень кандидата технических наук.

Присутствовали:

Кузнецов Ю.В. – председатель диссертационного совета;

Горбунова А.А. – ученый секретарь диссертационного совета;

Члены диссертационного совета:

Ушкар М.Н., Важенин Н.А., Гаврилов К.Ю., Добычина Е.М., Канащенко А.И., Кириллов В.Ю., Куприянов А.И., Мартиросов В.Е., Михайлов В.Ю., Назаров А.В., Плохих А.П., Поваляев А.А., Татарский Б.Г., Темченко В.С., Шевцов В.А., Юдин В.Н.

Ученый секретарь
диссертационного совета
24.2.327.01, к.т.н.

А.А. Горбунова

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 17.09.2024, протокол № 9

О присуждении Бабурину Антону Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методика высокоточного абсолютного местоопределения потребителя с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений сигналов ГЛОНАСС» по специальности 2.2.16. «Радиолокация и радионавигация» (технические науки) принята к защите «20» мая 2024 года (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.2.327.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказ о создании совета №105/нк от 11.04.2012. Приказом Минобрнауки России от 3 июня 2021 №561/нк установлены полномочия совета на срок действия номенклатуры научных специальностей.

Соискатель Бабурин Антон Александрович, 25.10.1996 года рождения.

В 2020 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет) по специальности «Радиоэлектронные системы и комплексы». В период подготовки диссертации соискатель Бабурин Антон Александрович работал в ак-

ционерном обществе «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» (АО «Российские космические системы») в отделении по функциональным дополнениям и ассистирующим системам глобальных навигационных спутниковых систем инженером-исследователем 2 категории. В настоящее время соискатель работает в ООО «Яндекс беспилотные технологии» разработчиком программного обеспечения.

Диссертация выполнена в акционерном обществе «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» (прикреплён для подготовки диссертации с 17.04.2023 по 31.03.2026 приказом №174 от 17.04.2023) в отделении по функциональным дополнениям и ассистирующим системам глобальных навигационных спутниковых систем.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Поваляев Александр Александрович**, главный научный сотрудник отделения, Акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем»; профессор кафедры «Космическое приборостроение», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. **Карутин Сергей Николаевич**, доктор технических наук., доцент, генеральный конструктор системы ГЛОНАСС – заместитель генерального директора АО «ЦНИИмаш»; генеральный директор АО «Институт навигации»; заведующий кафедрой, Московский государственный технический университет им Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет);

2. **Майстренко Евгений Владимирович**, кандидат технических наук, начальник отдела по Научно-исследовательской работе Научно образова-

тельного центра, АО «Концерн радиостроения «Вега»; доцент базовой кафедры №332 радиоприборостроения Института ИРИ РТУ МИРЭА.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **Акционерное общество «Конструкторское бюро навигационных систем» (АО «КБ НАВИС»)**, г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном, Борсуком Олегом Анатольевичем, заместителем генерального директора по разработке базовых навигационных технологий, Шиловым Максимом Михайловичем, начальником отделения разработки НАП высокой точности, к.т.н., Пучковым В.Ю., руководителем группы математического обеспечения, к.т.н. и утверждённом Кизенко Михаилом Анатольевичем, генеральным директором АО «КБ НАВИС», указала, диссертационная работа Бабурина А.А. является научной квалификационной работой, в которой автором получено новое решение актуальной задачи развития методик и алгоритмов повышения оперативности высокоточных абсолютных местоопределений за счёт разрешения неоднозначности фазовых измерений по сигналам ГЛОНАСС с частотным разделением и совместного использования ГЛОНАСС с частотным разделением и других ГНСС с кодовым разделением сигналов в режиме высокоточных абсолютных местоопределений с разрешением неоднозначности фазовых измерений. Тема и содержание диссертации соответствуют специальности 2.2.16. «Радиолокация и радионавигация». Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Бабурин Антон Александрович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации. В нём изложены все основные результаты, выносимые на защиту, дано достаточно полное представление о научной и практической значимости работы.

Сделаны выводы о том, что автор Бабурин Антон Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.16. «Радиолокация и радионавигация».

Отзыв был обсужден и одобрен на заседании Научно-технического совета АО «КБ НАВИС» (14.06.2024г).

Соискатель имеет 8 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ.

Наиболее значимые научные работы соискателя:

1. Бабурин, А.А. Алгебраические основы обработки измерений при высокоточном абсолютном местопределении с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений по сигналам ГЛОНАСС с частотным разделением каналов / А.А. Бабурин // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2022, т. 9, вып. 4. С. 47–58.

2. Бабурин, А.А. Определение временных корректирующих поправок для высокоточного абсолютного местопределения с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений по сигналам ГЛОНАСС с частотным разделением каналов / А.А. Бабурин // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2023, т. 10, вып. 1. С. 63–77.

3. Бабурин, А.А. Методы целочисленной оценки псевдофазовых неоднозначностей ГЛОНАСС / А.А. Бабурин. – Текст: электронный // Труды МАИ. – 2023. – №130. – URL: https://trudymai.ru/upload/iblock/105/n5fdg3smbxuk90ul7m02ux9f2ca924ue/16_Baburin.pdf?lang=ru&issue=130 (дата обращения: 08.12.2023).

4. Поваляев, А.А. Применение теории решетчатых упаковок в задаче определения временных корректирующих поправок для высокоточного абсолютного местопределения по ионосферосвободным измерениям в ГНСС с кодовым разделением / А.А. Поваляев, А.А. Бабурин, А.Н. Подкорытов // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2021, т. 8, вып. 3. С. 48-62. (соискателю принадлежит вычисление аналитических выражений, на 5 стр.).

5. Поваляев, А.А. Применение теории решетчатых упаковок в задаче высокоточного абсолютного местопределения по ионосферосвободным из-

мерениям параметров сигналов ГНСС с кодовым разделением / А.А. Поваляев, А.А. Бабурин, А.Н. Подкорытов // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2021, т. 8, вып. 2. С. 51-61. (соискателю принадлежит вычисление аналитических выражений, на 4 стр.)

Ключевые моменты диссертационной работы изложены в 5 работах в рецензируемых научных изданиях. Работы [4-5] написаны в соавторстве с Поваляевым А.А. и Подкорытовым А.Н.

В работе [1] изложен подход к решению пользовательской задачи высокоточного абсолютного местоопределения (задачи оценки координат потребителя относительно центра Земли). Описаны математические модели кодовых и фазовых измерений ГЛОНАСС. Описан способ решения проблемы межлитерных кодовых аппаратурных задержек в аппаратуре ГЛОНАСС при использовании однотипной навигационной аппаратуры. Предложен такой способ задания S-пространства при решении пользовательской задачи ГЛОНАСС, при котором для ГЛОНАСС возможно получение нестрого целочисленных оценок псевдофазовых неоднозначностей и применение алгоритмов их целочисленного разрешения. На практике продемонстрировано снижение времени сходимости за счёт использования этих алгоритмов.

В работе [2] описано решение сетевой задачи – задачи вычисления необходимых высокоточных корректирующих поправок для пользовательской задачи. Предложен способ сравнения кодовых аппаратурных задержек для разных станций. Продемонстрировано, что для рассматриваемых станций эти задержки с достаточной точностью совпадают. Приведены результаты обработки реальных измерений сети наземных станций.

В работе [3] рассмотрены несколько способов задания S-пространства в задаче оценки псевдофазовых неоднозначностей ГЛОНАСС. Эти способы порождают строго и нестрого целочисленные оценки псевдофазовых неоднозначностей. Показано, что строго целочисленные оценки имеют больший уровень шума, в то время как нестрого целочисленные – меньший уровень

шума, однако константное действительное смещение. Этим смещением при определенных условиях можно пренебречь.

В работе [4] описан подход к задаче выбора S-пространства в рамках задачи высокоточного абсолютного местоопределения. Предлагается альтернативный подход, использующий теорию решетчатых упаковок в отличие от известных подходов на основе теории графов. Предлагаемый подход имеет строгое математическое обоснование и в перспективе может позволить получать строго целочисленные оценки псевдофазовых неоднозначностей ГЛОНАСС.

В работе [5] теория решетчатых упаковок применена к пользовательской задаче высокоточного абсолютного местоопределения. Продемонстрировано, что в пользовательской задаче возможно бесконечно множество S-пространств, сохраняющих целочисленность оцениваемых псевдофазовых неоднозначностей. Предлагается критерий оптимального выбора такого S-пространства. В перспективе подход с использованием теории решетчатых упаковок позволит получать строго целочисленные оценки псевдофазовых неоднозначностей ГЛОНАСС.

Помимо указанных работ у автора диссертации имеются работы, опубликованные в сборниках трудов научно-технических конференций и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

В работах соискателя по теме диссертации в полном объеме изложены материалы диссертации и положения, выносимые на защиту. Отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все отзывы положительные):

Карутин Сергей Николаевич (официальный оппонент).

Отзыв заверил начальник отдела кадров АО «ЦНИИмаш», Гафич С.Н.

В замечаниях на диссертацию указано, что, в диссертации отсутствует анализ ситуации при котором навигационная аппаратура потребителя гражданского назначения должна функционировать в условиях активного

использования средств подавления навигационных радиосигналов КА ГЛОНАСС и зарубежных ГНСС, также имеются замечания по оформлению иллюстраций (в подписях на графиках используются английские обозначения), также указано, что в главе, посвященной оценке эффективности применения, не проводится оценка времени, требуемого для прогнозирования остаточной погрешности псевдодальности.

При этом подчеркнуто, что указанные замечания не касаются основных положений, выносимых на защиту, и не снижают высокого уровня исследования и практической значимости результатов. Указано, что диссертационная работа Бабурина А.А. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена важная научно-техническая задача о повышении точности определения координат местоположения потребителя глобальных навигационных спутниковых систем.

Работа в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, согласно п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (с соответствующими изменениями в редакции постановлений правительства Российской Федерации). Содержание диссертации соответствует паспорту заявленной специальности 2.2.16. «Радиолокация и радионавигация». Диссертационная работа «Методика высокоточного абсолютного местоопределения потребителя с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений сигналов ГЛОНАСС» выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Бабурин Антон Александрович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Майстренко Евгений Владимирович (официальный оппонент).

Отзыв заверен заместителем начальника управления по работе с персоналом АО «Концерн радиостроения «Вега» И.В. Самойленко и

утверждён директором по НИОКР АО «Концерн радиостроения «Вега» Василием Владимировичем Мекекечко.

В замечаниях по диссертационной работе указано, что в тексте диссертации есть ссылки на источники по фильтрации Калмана или вычисления МНК-оценки, однако нет формульного отражения алгоритмов непосредственно определения местоположения (МП); из текста не понятно, по каким показателям автором в работе проводилось оценивание совершенства определения местоположения; для чего нужна см точность определения цели с характерными размерами в единицы метров; не ясно, каким образом в работе достижение высокой точности совмещается с решением неоднозначности измерений; отсутствует оценка, сравнительный анализ автора полученного в работе результата; не ясно, с какой целью автором в названии темы и непосредственно в работе используется термин «абсолютного».

При этом отмечено, что несмотря на отмеченные выше замечания, диссертационная работа является глубоким, серьезным и тщательно выполненным научным исследованием. Сделаны выводы о том, что представленная к защите диссертационная работа Бабурина А. А. является законченным квалификационным научным исследованием, соответствует требованиям ВАК МО РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор достоин присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.16. «Радиолокация и радионавигация».

АО «КБ «НАВИС» (ведущая организация)

Отзыв утверждён генеральным директором АО «КБ «НАВИС» Михаилом Анатольевичем Кизенко.

В замечаниях по диссертационной работе указано на ориентацию при решении сетевой и пользовательской задач исключительно на использование однотипной НАП. Данное требование накладывает ограничение не только на размер региона предоставления услуги абсолютной навигации высокой точности, но и обуславливает невозможность реализации режима PPP-AR по

сигналам ГЛОНАСС-ЧР при использовании произвольной НАП. Также указано на то, что сетевая задача сводится к задаче определения параметров ассистирующей информации только в части поправок к частотно-временной информации (ЧВИ), передаваемой НКА ГЛОНАСС-ЧР. При этом высокоточные координаты НКА как в сетевой, так и в пользовательской задаче полагаются известными (заимствуются из внешнего источника). Также отмечено, что решение сетевой и пользовательской задачи в рамках ряда предположений и ограничений (относящихся к характеристикам используемой НАП и аппаратуры НКА, а также к возможностям организации, обеспечивающей предоставление услуги абсолютной навигации высокой точности) сужает область применения разработанных автором методик, методов и алгоритмов. Кроме того, отмечено отсутствие в диссертационной работе информации о используемых сигналах ГНСС, источниках ассистирующей информации и используемой НАП, а также присутствие отдельных терминологических неточностей.

Сделан вывод, что отмеченные недостатки, тем не менее, не носят принципиального характера и не влияют на положительную оценку представленной работы в целом. Полученные автором и представленные в диссертации результаты исследований и разработок могут быть использованы в организациях, занимающихся созданием перспективной высокоточной навигационной аппаратуры потребителей ГЛОНАСС/GPS/Galileo/BDS, аппаратуры сети измерительных станций, а также аппаратно-программных комплексов формирования и информационного обеспечения потребителей данными ассистирующей информации реального времени. Рекомендовано продолжить исследования и разработки автора в части высокоточного абсолютного местоопределения потребителей с разрешением целочисленной неоднозначности фазовых измерений сигналов ГЛОНАСС-ЧР.

Таким образом, диссертационная работа Бабурина А.А. является научной квалификационной работой, в которой автором получено новое решение актуальной задачи развития методик и алгоритмов повышения оперативно-

сти высокоточных абсолютных местоопределений за счёт разрешения неоднозначности фазовых измерений по сигналам ГЛОНАСС с частотным разделением и совместного использования ГЛОНАСС с частотным разделением и других ГНСС с кодовым разделением сигналов в режиме высокоточных абсолютных местоопределений с разрешением неоднозначности фазовых измерений. Тема и содержание диссертации соответствуют специальности 2.2.16. «Радиолокация и радионавигация».

Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Бабурин Антон Александрович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

На автореферат также поступило 11 отзывов из организаций:

1. Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»), Московская область, г. Солнечногорск, рабочий посёлок Менделеево – отзыв подписан старшим научным сотрудником, к.т.н., Пудловским В.Б. и заверен специалистом по персоналу отдела кадров ФГУП ВНИИФТРИ И.А. Фроловой.

2. Акционерное общество «ВНИИР-Прогресс», г. Москва – отзыв подписан директором по навигационным и связным системам, д.т.н., профессором Харисовым В.Н. и заверен сотрудником отдела кадров Т.А. Барановой.

3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва – отзыв подписан главным научным сотрудником, руководителем учебно-исследовательского центра, д.т.н., профессором Перовым А.И. и заверен проректором по науке и инновациям Комаровым И.И.

4. Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения», г. Москва – отзыв подписан

врио генерального конструктора, первого заместителя генерального директора АО «НПК «СПП», к.т.н. Плешановым А.Н. и заверен начальником отдела кадров Л.Г. Тумановой.

5. Акционерное общество «Северо-западный региональный центр Концерна ВКО «Алмаз-Антей» – Обуховский завод», г. Санкт-Петербург - отзыв подписан руководителем группы лаборатории перспективных исследований и развития базовых технологий, к.т.н. Жестеревым А.Е. и заверен генеральным конструктором по радионавигационным системам Скобелиным А.А.

6. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», г. Новосибирск - отзыв подписан научным сотрудником научно-исследовательского института стратегического развития, к.т.н. Липатниковым Л.А. и заверен начальником отдела кадров Ю.В. Вантеевой.

7. Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт имени академика А.И. Берга» (ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга), г. Москва – отзыв подписан советником генерального конструктора по космическим и авиационным системам-заместителем генерального директора, д.т.н., доцентом Хлоповым Б.В., заверен ученым секретарём, к.т.н. Каревым В.В. и утверждён генеральным директором, председателем Учёного совета, д.т.н., профессором Андреевым Г.И.

8. Общество с ограниченной ответственностью «Исследовательский Центр Эм Эс Джей», г. Москва – отзыв подписан генеральным директором, к.т.н. Люсиным С.В. и заверен печатью.

9. Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС», Санкт-Петербургский филиал), г. Санкт-Петербург – отзыв подписан ведущим специалистом, к.т.н.

Аникеевой И.А. и заверен заместителем генерального директора – директором Санкт-Петербургского филиала АО «НИИАС» П.А. Поповым.

10. Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург – отзыв подписан доцентом кафедры космической радиолокации и радионавигации, д.т.н., доцентом В.Бахолдиным и врио начальника кафедры космической радиолокации и радионавигации, к.т.н., доцентом А.Кошкарковым и утверждён врио заместителя начальника Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по учебной работе, д.в.н., доцентом А.Федером.

11. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск – отзыв подписан начальником кафедры АСУ ВКС ВУЦ СФУ, к.т.н., доцентом В.Н. Ратушняком и заверен печатью.

Основные замечания по содержанию работы:

- в материалах автореферата не содержится сведений о вероятности возникновения аномальных ошибок при использовании предлагаемой методики в сравнении с другими известными алгоритмами ВАМО;

- для практической апробации предлагаемого алгоритма ВАМО автор использовал измерения НАП одного типа. Практическая возможность и условия реализации предложенной методики с использованием НАП разных типов в автореферате никак не обсуждается;

- полное игнорирование диссертантом роли К. Пензина, впервые в 1991 году предложившего основополагающий для всей тематики разрешения целочисленной неоднозначности результат - метод унимодулярных преобразований;

- в математике разработаны общие методы решения недоопределенных и при этом избыточных систем линейных уравнений, возникающих в рассмотренной задаче, например, основанные на сингулярном разложении мат-

риц. Отказ от общих методов в пользу частного, можно сказать, «кустарного» метода S-преобразований в диссертации никак не обоснован;

- название диссертации «Методика..» и одним из основных результатов диссертации сформулировано «Разработанная методика ВАМО ». Однако в диссертации отсутствует описание какой-либо «разработанной методики»;

- диссертация в целом написана как совокупность каких-то формул, положений, результатов и т.д., часть которых, по мнению рецензента, известна (например, раздел 1.4 Математические модели измерений). Поэтому, сложно оценить, что нового внесено автором диссертации;

- в «Положениях, выносимых на защиту» под номером 4) есть неверное утверждение «Разработанная методика решения пользовательской и сетевой задач целочисленного ВАМО позволяет сократить время сходимости решения до точности 3-5 см по сигналам ГЛОНАСС с частотным разделением GPS - до мгновенного решения». На графиках рис. 2 Автореферата время сходимости составляет единицы минут;

- раздел 3.1.4 диссертации называется «Оценка потенциальной точности абсолютных местоопределений при использовании только псевдофазовых измерений». Однако, в данном разделе не определено, что понимается под «потенциальной точностью»;

- из автореферата не вполне понятны числовые критерии отнесения приёмников сетевых станций и потребителей к «совместимым»;

- предложенная методика и алгоритмы имеют локальную область применения, определяемую техническими возможностями оснащения сетевых станций потребителей однотипной («совместимой») НАП и необходимостью обработки первых разностей близко расположенных приемников для выявления «совместимых»;

- остаётся неясным, во-первых, каким образом введенная схема оценки потенциальной точности позволяет избежать аномальных ошибок, которые могут попасть в «однозначные» псевдофазовые измерения, во-вторых, поче-

му не подходит штатная процедура оценивания в кинематическом режиме, реализованная в применявшемся программном обеспечении RTKLIB;

- не вполне понятно, что являлось эталоном в процессе оценивания точности местоопределения, относительно чего вычислялось математическое ожидание погрешностей местоопределения;

- с практической точки зрения было бы интересно увидеть результаты работы предложенных автором алгоритмов на различной НАП с использованием алгоритмов калибровки;

- в работе никак не исследуется вопрос надёжности полученных высокоточных оценок координат НАП (отсутствуют оценки вероятности появления аномальных ошибок);

- в работе вводится понятие «трёхмерной ошибки местоопределения» (стр. 19 автореферата и стр. 94 диссертации), однако отсутствует информация о том, как и откуда, были получены эталонные координаты потребителя, относительно которых вычисляется ошибка;

- в работе приведен Рис.3 «График ошибок», не позволяющий использовать его как результат рекуррентного оценивания, иллюстрирующий только схему варианта смещения зоны местоопределения в «горизонтальной плоскости» и адекватность разработанных в диссертации математических моделей для вычисления поправок в сетевой задаче;

- более интересно было бы увидеть результаты применения методики для обработки измерений движущихся объектов в более реальных условиях, когда спутниковые сигналы периодически могут прерываться;

- отсутствует сравнение с результатами высокоточного абсолютного местоопределения без целочисленного разрешения псевдофазовых неоднозначностей (float PPP);

- применение разработанной методики в навигационном приёмнике потребителя требует наличия специальных высокоточных спутниковых поправок. Вычисление этих поправок требует наличия сети опорных станций и обработки их измерений, что является куда более сложной задачей;

- разработанная методика рассчитана на однотипную НАП, что сужает область её применения;

- разработанная методика не включает алгоритмы оценки достоверности разрешения псевдофазовых неоднозначностей, что затрудняет практическое использование этой методики;

- в работах автора отсутствуют охранно-способные труды (патент на изобретение, полезную модель Российской Федерации) и судя по публикационной активности глубина проводимых исследований автором составляет 3 года;

- в автореферате диссертации не рассмотрена сравнительная характеристика или возможность использования разрешения фазовой неоднозначности на основе одномоментного переборного метода;

- в работе не исследованы чрезвычайно актуальные вопросы эффективности разработанной методики в условиях воздействия преднамеренных шумовых, сигналоподобных помех и ложных навигационных полей.

- в работе не проведена оценка применимости разработанной методики для подвижных объектов с различной динамикой и функционирующих в разнообразных средах.

- в диссертации при проведении экспериментальных оценок потенциальной точности и оперативности в качестве второй системы необоснованно использовалась навигационная система недружественной страны.

Все отзывы, поступившие на диссертацию и автореферат, положительные и содержат заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующими соображениями. Официальные оппоненты являются признанными специалистами в области радиолокации и радионавигации, соответствующей специальности диссертации; имеют публикации, близкие по теме диссертационной работы, являются сотрудниками разных организаций и не имеют совместных публикаций с соискателем. Ведущая организация из-

вестна своими научными достижениями в соответствующей сфере исследования, что подтверждается актуальными публикациями ее сотрудников – Шатилов А.Ю., Силин С.В., Лукьянов В.С., Тюфтяков Д.Ю., Немов А.В., Грибов П.С. и др. Соискатель и научный руководитель соискателя не работают в данной организации и не являются участниками научно-исследовательских работ, ведущихся в этой организации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **Разработана** методика решения задачи высокоточного абсолютного местоопределения с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), которая позволяет получить координаты потребителя с точностью 3-5 см за время 5-20 минут при использовании только ГЛОНАСС и за время до 5 минут при совместном использовании ГЛОНАСС и GPS;

– **Разработан** на основе теории S-преобразования способ «нестрого целочисленной» оценки псевдофазовых неоднозначностей для измерений сигналов ГЛОНАСС с частотным разделением;

– **Предложена** методика сравнения кодовых аппаратурных задержек различной навигационной аппаратуры потребителей (НАП), позволяющая выявлять аппаратуру, обладающую схожими характеристиками в части аппаратурных задержек измерения псевдодальности (однородную НАП);

– **Предложены** математические модели измерений однородной НАП ГЛОНАСС с линейной аппроксимацией фазо-частотной характеристики в диапазонах частот ГЛОНАСС L1 (1598,0625 - 1605,375 МГц), L2 (1242,9375 - 1248,625 МГц), позволяющие целочисленно оценивать псевдофазовые неоднозначности и не требующие дополнительной калибровки НАП.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

– **проведён анализ** влияния особенностей навигационных измерений сигналов ГЛОНАСС с частотным разделением на обеспечение заданной точности абсолютного местоопределения;

– **получено** условие, при котором возможно вычисление нестрого целочисленных оценок псевдофазовых неоднозначностей ГЛОНАСС (с пренебрежимо малым отличием от целочисленных значений), состоящее в том, что величина псевдофазовой неоднозначности опорного спутника не должна превышать значения 21 цикла фазы несущей частоты (при наименее благоприятном распределении литерных частот видимых спутников ГЛОНАСС);

– **предложен** общий подход к решению сетевой и пользовательской задачи целочисленного высокоточного абсолютного местоопределения на основе теории S-преобразования для сигналов ГНСС как с частотным, так и с кодовым разделением;

– **получены** оценки потенциальной точности целочисленного высокоточного абсолютного местоопределения при раздельном использовании ГЛОНАСС (СКО ошибки в плане: 2,1 см) и ГНСС с кодовым разделением на примере GPS (СКО ошибки в плане: 0,8 см), а также при их совместном использовании (СКО ошибки в плане 0,6 см).

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

– **разработан** алгоритм высокоточного абсолютного местоопределения потребителя с разрешением целочисленной неоднозначности по измерениям сигналов ГЛОНАСС, алгоритм вычисления необходимых потребителю высокоточных корректирующих поправок, способ «нестрого целочисленной» оценки псевдофазовых неоднозначностей ГЛОНАСС (при условии использования однотипных приёмников);

– **эффективно использован** как в пользовательской, так и в сетевой задачах алгоритм целочисленного разрешения псевдофазовых неоднозначностей ГЛОНАСС (LAMBDA-метод);

– **создан** программный комплекс, реализующий разработанную методику;

– результаты диссертационной работы **внедрены** в учебный процесс базовой кафедры «Космическое приборостроение» Московского физико-

технического института (национального исследовательского университета) и используются при разработке и в ходе проведения лекционных и практических занятий по дисциплине «Глобальные спутниковые системы местоопределения и синхронизации» для студентов, обучающихся по профилю «Геокосмические информационные системы и управление движением» направления подготовки 03.03.01 «Прикладная математика и физика» (акт внедрения от 8 декабря 2023 г.), а также использованы при разработке эскизного проекта ОКР «Сигал-М» в АО «НПК «СПП» (акт №1/11-2023 от 7 ноября 2023) и при разработке Интерфейсного контрольного документа «Радиосигнал ВКК с кодовым разделением в диапазоне L3 для гражданских пользователей. Редакция 1» в АО «Российские космические системы» (акт №9-АК-1429 от 3 ноября 2023 г.).

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

– **корректное использование** методов математического анализа, линейной алгебры, теории вероятности и математической статистики, корректность исходных положений и правильность математических преобразований, используемых при разработке алгоритмов и математических моделей измерений;

– **сопоставимость** результатов проведённых натуральных экспериментов ожидаемым результатам теоретического анализа, и результатам, известным из литературы;

– **использование** апробированного, общепризнанного в профессиональной среде и широко применяемого программного обеспечения фирмы MathWorks (MATLAB), а также библиотеки с открытым исходным кодом RtkLib.

Личный вклад соискателя состоит в:

– **постановке и решении** частных задач, определяемых декомпозицией научной задачи, состоящей в разработке методики высокоточного абсолютного местоопределения потребителя с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений сигналов ГЛОНАСС;

- **разработке** математических моделей измерений сигналов ГНСС однотипной навигационной аппаратуры потребителя;
- **разработке** алгоритмов оценивания смещений показаний часов спутников ГЛОНАСС по измерениям сети наземных станций, оборудованных однотипной НАП;
- **проведении** натуральных экспериментов по обработке реальных измерений сети станций ГНСС (оборудованной однотипной аппаратурой JAVAD TRE G3T) с использованием разработанной методики;
- **анализе** результатов, полученных в ходе расчётов и экспериментов;
- **разработке** алгоритмов и программ в среде MATLAB и на языке C/C++;
- **составлении** текстов публикаций по теме работы, а также личном участии в конференциях по тематике исследований.

На основании вышеизложенного, диссертационный совет заключает, что рассматриваемая диссертация является научно-квалификационной работой, в которой предложено решение актуальной научно-технической задачи, имеющей существенное значение для радионавигации – высокоточного абсолютного местоопределения с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений сигналов ГЛОНАСС.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Все навигационные измерения, использованные в натуральных экспериментах, были сделаны статическими приёмниками. Разработанная методика не была апробирована на подвижных объектах.

2. В работе не приведены числовые оценки вероятности возникновения аномальных ошибок в оцениваемых координатах потребителя.

Соискатель Бабурин А.А. ответил на задаваемые ему в ходе дискуссии вопросы и привёл собственную аргументацию.


На основании вышеизложенного, диссертационный совет заключает, что рассматриваемая диссертация является научно-квалификационной работой, в которой предложено решение актуальной научно-технической задачи, имеющей существенное значение для радионавигации – развития методик и алгоритмов повышения оперативности высокоточных абсолютных местоопределений за счёт разрешения неоднозначности фазовых измерений по сигналам ГЛОНАСС с частотным разделением и других ГНСС с кодовым разделением сигналов.

Диссертация Бабурина А.А. соответствует всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842


На заседании 17 сентября 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Бабурину А.А. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.2.16. «Радиолокация и радионавигация», участвующих в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» - 18, «против» - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель
диссертационного совета 24.2.327.01
д.т.н., профессор

 Кузнецов Юрий
Владимирович

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.01
к.т.н.

 Горбунова Анастасия
Александровна

Проректор по научной работе,
д.т.н., доцент

 Иванов Андрей
Владимирович



17.09.2024 г.