



Акционерное общество «Конструкторское
бюро навигационных систем»
(АО «КБ НАВИС»)

ул. Кульнева, д.3, стр. 1, пом.Ш,
ком. 5,6 г. Москва, 121170

Почтовый адрес: а/я 11, г. Москва, 127411

Тел. +7 (495) 665-61-48

факс +7 (495) 665-61-49

E-mail: navis@navis.ru

<http://www.navis.ru>

ОКПО 44473627, ОГРН 1027700456024

ИНН/КПП 7725075060/773001001

Председателю диссертационного
совета 24.2.327.01

«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)» («МАИ»)

Кузнецову Ю.В.

Волоколамское шоссе, д. 4

г. Москва, 125993

тел. 8-499-158-43-33

Факс 8-499-158-29-77

mai@mai.ru

18.06.2024

№

13/2824

На №

010/1914-1

от

11.06.2024

Отзыв на диссертацию

Уважаемый Юрий Владимирович!

На Ваш исх. № 010/1914-1 от 11.06.2024 г. высылаем отзыв ведущей организации на диссертацию Бабурина Антона Александровича на тему «Методика высокоточного абсолютного местоопределения потребителя с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений сигналов ГЛОНАСС», представленной к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.16 «Радиолокация и радионавигация».

Приложение: Отзыв... - на 6 л. в 2 экз.

Генеральный директор

М.А. Кизенко

Отдел документационного
обеспечения МАИ

25.06

2024 г.



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
АО «КБ НАВИС»

М.А. Кизенко

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Бабурина А.А.
«Методика высокоточного абсолютного местоопределения потребителя
с разрешением целочисленной неоднозначности
псевдофазовых измерений сигналов ГЛОНАСС»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.16 – «Радиолокация и радионавигация»

Одним из наиболее важных и перспективных направлений совершенствования навигационного обеспечения потребителей глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) различного назначения является предоставление потребителям услуги абсолютной навигации высокой точности. Предоставление данной услуги проводится в результате, во-первых, формирования сетевыми сервисами информационной поддержки ГНСС, наземными сегментами ГНСС или их функциональными дополнениями ассистирующей информации реального времени, во-вторых, передачи её потребителям по наземным и космическим каналам связи и, в-третьих, использования в навигационной аппаратуре потребителей (НАП) технологии PPP (Precise Point Position – высокоточное абсолютное местоопределение). Практическая реализация услуги абсолютной навигации высокой точности с учётом современных требований к оперативности, надёжности и достоверности результатов местоопределений обуславливает необходимость модернизации известных и разработки новых методик спутниковых определений по сигналам ГНСС (в частности – используемых в технологии PPP при решении как сетевых, так и пользовательских задач), а также необходимость разработки достаточно эффективных методов и алгоритмов обработки спутниковых измерений (в частности – псевдодальностей на несущей частоте с разрешением неоднозначности фазовых отсчётов). Применение названных методик, методов и алгоритмов при обеспечении возможности и непосредственной реализации режима PPP-AR работы НАП (PPP Ambiguity Resolution – PPP с целочисленным разрешением неоднозначности фазовых измерений) при проведении координатных определений с использованием ГНСС ГЛОНАСС с частотным разделением (ГЛОНАСС-ЧР) имеет ряд особенностей и принципиальных трудностей, которые до настоящего времени исследовались недостаточно глубоко. В связи с этим, решаемая в диссертационной работе задача развития методик, методов и алгоритмов повышения оперативности высокоточных абсолютных местоопределений за счёт разрешения неоднозначности фазовых измерений по сигналам ГЛОНАСС-ЧР является весьма актуальной.

Научная новизна проведённых автором исследований, практическая направленность и значимость работы достаточно убедительно обоснованы в диссертации и автореферате и не вызывают сомнений. К наиболее важным научным и практическим результатам, полученным автором, относятся следующие.

1 Разработана методика выявления однотипной НАП, обладающей схожими характеристиками в части аппаратных задержек сигналов ГЛОНАСС-ЧР, которая может быть использована при решении пользовательских и сетевых задач с целью реализацией режима PPP-AR.

2 В рамках решения пользовательской задачи разработаны методики и алгоритмы двух вариантов режима PPP-AR (со строгим и нестрогим целочисленным разрешением неоднозначности фазовых измерений по сигналам ГЛОНАСС-ЧР) при его реализации в НАП, однотипной с используемой при решении сетевой задачи.

3 В рамках решения сетевой задачи разработаны методика и алгоритм оценивания по измерениям сети наземных станций, оборудованных однотипной НАП, параметров ассистирующей информации реального времени в части поправок к часам навигационных космических аппаратов (НКА) ГЛОНАСС-ЧР.

Особо следует отметить изначальную ориентацию разработанных методик, методов и алгоритмов на обеспечение как отдельного, так и совместного использования ГЛОНАСС-ЧР и других ГНСС с кодовым разделением сигналов в режиме PPP-AR, а также на решение не только пользовательской, но и сетевой задач.

Реализация разработанных методик, методов и алгоритмов позволяет значительно уменьшить время инициализации режима PPP-AR (сходимости решения до сантиметрового уровня точности) и увеличить надёжность разрешения неоднозначности фазовых измерений и тем самым – обеспечить требуемые точность, оперативность, надёжность и достоверность результатов координатных определений при совместном использовании ГНСС с частотным и кодовым разделением сигналов. Результаты исследований и разработок автора могут быть использованы для обеспечения предоставления потребителям услуги абсолютной навигации высокой точности, в том числе:

- при моделировании и совершенствовании процесса высокоточного абсолютного местоопределения различных потребителей, проведении оценок и анализа точности, оперативности, надёжности и достоверности результатов определений;

- при разработке и модернизации программных комплексов формирования данных ассистирующей информации реального времени по измерениям сети наземных станций;

- при разработке и модернизации программного обеспечения высокоточной навигационной аппаратуры потребителей ГНСС, реализующей режим PPP-AR.

Результаты исследований и разработок, полученные в диссертационной работе, реализованы:

- при разработке Программного комплекса высокоточного абсолютного местоопределения потребителей с разрешением целочисленной неоднозначности по измерениям сигналов ГНСС;

- при разработке АО «Российские космические системы» Интерфейсного контрольного документа «Радиосигнал ВКК с кодовым разделением в диапазоне L3 для гражданских пользователей. Редакция 1.0»;

- при разработке АО «НПК «СПП» по заказу Госкорпорации «Роскосмос» эскизного проекта ОКР «Сигал-М»;

- в учебном процессе Московского физико-технического института (нацио-

нального исследовательского университета).

Реализация исследований и разработок автора подтверждена Свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023682719 РФ и соответствующими Актами об использовании или внедрении. Это свидетельствует о практической направленности и значимости разработанных в диссертационной работе методик, методов и алгоритмов.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в пяти статьях, двух тезисах докладов на международном симпозиуме и Всероссийской научно-технической конференции, докладывались и обсуждались на научно-технических семинарах, заседаниях научно-технического совета АО «РКС», что свидетельствует о достаточной апробации полученных результатов. Достоверность и обоснованность основных научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются корректным использованием современных методов научных исследований и обработки экспериментальных данных. Работоспособность и эффективность разработанных методик и алгоритмов подтверждены экспериментально в результате обработки реальных измерений и успешного решения конкретных сетевой и пользовательской задач.

Разработанные в диссертации методики, методы и алгоритмы позволяют повысить оперативность высокоточных абсолютных местоопределений при заданном уровне точности решения путём снижения времени сходимости навигационного фильтра за счёт разрешения неоднозначности фазовых измерений по сигналам ГЛОНАСС-ЧР и тем самым обеспечить возможность совместного использования ГЛОНАСС-ЧР, GPS, Galileo и BDS в режиме высокоточных абсолютных местоопределений с разрешением неоднозначности фазовых измерений. Поэтому, а также с учётом изложенного выше, можно сделать вывод о том, что цель диссертационной работы достигнута.

Диссертационная работа и автореферат характеризуются чётким и грамотным изложением материала, что свидетельствует о достаточно глубоких знаниях автора в области систем и средств спутниковой навигации, владении аппаратом математического анализа, линейной алгебры, теории вероятностей и математической статистики, методами моделирования и обработки экспериментальных данных.

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. Изложение материала автореферата отличается лаконичностью и, одновременно, конкретностью и полнотой.

Вместе с тем, диссертационная работа имеет ряд недостатков, к основным из которых относятся следующие.

1 Ориентация при решении сетевой и пользовательской задач исключительно на использование однотипной НАП (включающей одинаковые модели приёмников от одного производителя, оборудованные одинаковыми антеннами и радиопрозрачными обтекателями) с совпадающими с необходимой точностью характеристиками в части аппаратных задержек сигналов ГЛОНАСС-ЧР. При этом не только сеть наземных станций, в результате обработки измерений которых формируется ассистирующая информация, должна быть однородной (оборудованной однотипной НАП), но и определения в режиме PPP-AR должны проводиться средствами НАП, однотипной с НАП, используемой в сети наземных станций.

Данное требование накладывает ограничение не только на размер региона

предоставления услуги абсолютной навигации высокой точности (в частности, вследствие невозможности использования глобальной совмещённой сети отечественных и зарубежных станций, использующих разнотипную НАП), но и обуславливает невозможность реализации режима PPP-AR по сигналам ГЛОНАСС-ЧР при использовании произвольной НАП.

2 Сведение сетевой задачи 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).

Координаты опорных станций сети, их шкалы времени (ШВ) должны соответствовать единой системе координат и единой ШВ. Только в этом случае в результате обработки измерений опорных станций такой сети может быть сформирована ассистирующая информация, согласованная в части поправок к эфемеридной информации (ЭИ) и ЧВИ. Использование такой ассистирующей информации при реализации режима PPP-AR позволит потребителю определять свои координаты в системе координат, задаваемой координатами опорных станций сети, при этом носителем этой системы координат для потребителя будет принимаемая им ассистирующая информация. В противном случае (при определении поправок только к ЧВИ и использовании при решении сетевой и пользовательской задач высокоточных координат НКА от некоего внешнего источника, использующего некие свои систему координат и ШВ) погрешности привязки координат и ШВ опорных станций к системе координат и ШВ, которой соответствует высокоточные координаты НКА от внешнего источника, обусловят соответствующие погрешности формируемой ассистирующей информации в части поправок к ЧВИ, что не позволит, в общем случае, обеспечить сантиметровой уровень точности координатных определений как в режиме PPP-AR, так и в режиме PPP.

3 Решение сетевой и пользовательской задач в узких рамках предположений и ограничений, в частности:

- достаточно низкий уровень аппаратурных погрешностей кодовых и фазовых измерений, нормальный закон их распределения, достаточно малая величина рассогласования кодовых и фазовых измерений;
- отсутствие погрешностей многолучёвости;
- линейность фазочастотной характеристики НАП;
- стабильность во времени аппаратурных задержек сигналов ГЛОНАСС-ЧР в НАП и в аппаратуре НКА;
- региональное решение сетевой и пользовательской задач (радиус региона около 1000 км);
- размещение НАП, используемой при решении пользовательской задачи, вблизи центра сети станций, используемых для решения сетевой задачи;
- решение пользовательской задачи в статическом режиме.

Наличие названных предположений и ограничений, а также необходимость использования однотипной НАП (в части аппаратурных задержек сигналов ГЛОНАСС-ЧР) существенно сужает область применимости разработанных автором методик, методов и алгоритмов повышения точности, оперативности, надёжности и достоверности результатов абсолютных координатных определений за счёт разрешения неоднозначности фазовых измерений по сигналам ГЛОНАСС-ЧР. Следует отметить, что

сформулированные автором условия решения поставленной задачи относятся, в основном, к характеристикам используемой НАП и аппаратуры НКА, а также к возможностям организации, обеспечивающей предоставление услуги абсолютной навигации высокой точности.

4 Отсутствие в диссертационной работе, в том числе при описании результатов экспериментальной обработки реальных данных при решении сетевой и пользовательской задач, следующей конкретной информации:

- используемые ГНСС и типы обрабатываемых сигналов (например, ГЛОНАСС L1OF, L2OF, GPS L1C/A, L2CM или другие);

- используемый источник ассистирующей информации в части поправок к ЭИ, передаваемой НКА ГНСС (сетевом сервисе информационной поддержки ГНСС, например, СВО ЭВИ, ВКГ, CNES, DLR или другой);

- используемая НАП (производитель, наименование, модель).

5 Наличие отдельных терминологических неточностей, в частности:

- периодическое (на стр. 6, 24, 40, 133 и др.) использование термина "частотное/кодовое разделение каналов" вместо "частотное/кодовое разделение сигналов" или "сигналы с частотным/кодовым разделением", что противоречит, в частности, соответствующим интерфейсным контрольным документам ГЛОНАСС;

- периодическое (на стр. 37, 38, 134 и др.) использование терминов "комбинация на суммарной длине волны", "узкая комбинация" и "комбинация на разностной длине волны", "широкая комбинация" вместо общепринятых терминов "узкополосная" (narrow-lane) и "широкополосная" (wide-lane) комбинаций соответственно;

- использование термина "момент предшествования" (дважды на стр. 31) вместо "момент излучения сигнала";

- использование аббревиатуры "ВАМО" (высокоточное абсолютное местоопределение) вместо общепринятой в зарубежной и отечественной литературе аббревиатуры "PPP" (Precise Point Positioning – высокоточное абсолютное местоопределение), что аналогично использованию, например, аббревиатуры "КРВ" (кинематика реального времени) вместо общепринятой RTK (Real Time Kinematic – кинематика реального времени);

- использование применительно к реализации технологии PPP терминов "высокоточная корректирующая информация", "корректирующие поправки" вместо общепринятой в зарубежной и отечественной литературе термина "ассистирующая информация".

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.

Дальнейшие исследования и разработки автора в части высокоточного абсолютного местоопределения потребителей с разрешением целочисленной неоднозначности фазовых измерений сигналов ГЛОНАСС-ЧР целесообразно проводить в следующих направлениях:

– разработка методик, методов и алгоритмов удалённой относительной калибровки НАП (определение аппаратурных задержек сигналов ГЛОНАСС-ЧР, наклонов фазочастотной характеристики и др. по кодовым и фазовым измерениям, полученным по реальным сигналам) с целью обеспечения возможности использования разнотипной НАП при решении сетевой и пользовательской задач;

– разработка методик, методов и алгоритмов совместного определения необходимых параметров ассистирующей информации реального времени, включающих поправки к ЭИ и ЧВИ, кодовые и фазовые смещения сигналов НКА, параметры моделей ионосферы и тропосферы, эквивалентную СКП псевдодальности, обусловленную погрешностями ассистирующей информации и др., обеспечивающих согласованность формируемых параметров, возможность использования при решении пользовательской задачи любых сигналов НКА на двух-трёх частотах, а также возможность реализации режима высокоточных абсолютных местоопределений регионального и глобального использования с целочисленным разрешением неоднозначности фазовых измерений;

– разработка методик, методов и алгоритмов решения сетевой и пользовательской задач, рассчитанных на работу в реальных условиях приёма сигналов НКА, с учётом реальных характеристик используемой аппаратуры НКА и НАП, что значительно расширит область применимости представленных в диссертации разработок автора в области повышения точности, оперативности, надёжности и достоверности результатов абсолютных координатных определений.

Таким образом, 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, Бабури́н Анто́н Алекса́ндрович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Отзыв ведущей организации по диссертационной работе Бабурина А.А. рассмотрен и одобрен на заседании НТС АО «КБ НАВИС» 14 июня 2024 года.

Заместитель генерального директора
по разработке базовых навигационных технологий


О.А. Борсук

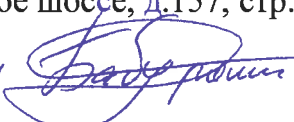
Начальник отделения разработки НАП
высокой точности, кандидат технических наук


М.М. Шилов

Руководитель группы математического обеспечения,
кандидат технических наук


В.Ю. Пучков

Акционерное общество «Конструкторское бюро навигационных систем»
(АО «КБ НАВИС»), 127411, г. Москва Дмитровское шоссе, д.157, стр.5, 8
E-mail: navis@navis.ru, телефон: 8 (495) 665-61-48

С отзывом ознакомлен 28.06.2024  А.А. Бабури́н