



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ
РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
"ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ"
(ФГУП "ВНИИОФИ")

Озерная ул., д.46, Москва, 119361,
тел.: (495)437-56-33, факс: (495) 437-31-47
E-mail: vniofi@vniofi.ru; <http://www.vniofi.ru>

ОКПО 05842749, ОГРН 1027739034036
ИНН/КПП 7702038456/772901001

23 НОЯ 2022

№

44-4/7598

На №

Председателю диссертационного
совета Д 32.1.004.01, д.т.н.
А.Н. Щипунову

Россия, 141570,
п/о Менделеево, Московской
области, ФГУП «ВНИИФТРИ»

Уважаемый Андрей Николаевич!

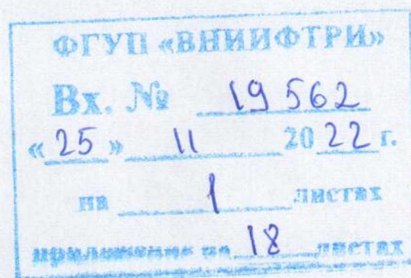
Направляем отзыв нашей организации на диссертацию Фролова
Анатолия Александровича «Совершенствование методов измерения углов
пространственной ориентации угломерной навигационной аппаратурой
потребителя ГЛОНАСС», представленной к защите на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 – Метрология и
метрологическое обеспечение.

Приложение: Отзыв ведущей организации на 9 л., 2 экз.

Директор, к.ф.-м.н.

А.С. Батури

Исп. Вишняков Г.Н.
тел. +7-495-437-33-77
vish@vniofi.ru



УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГУП «ВНИИОФИ»,

кандидат физико-математических наук



А.С. Батурин

«22» 11 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Фролова Анатолия Александровича

«Совершенствование методов измерения углов пространственной ориентации угломерной навигационной аппаратурой потребителя ГЛОНАСС»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 – Метрология и метрологическое обеспечение

На отзыв была предоставлена диссертационная работа, состоящая из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 74 наименований и трех приложений. Текст работы изложен на 127 страницах, включает 53 рисунка и 6 таблиц. Текст автореферата изложен на 24 страницах.

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»).

Актуальность темы исследований для науки и практики

Технология определения углов пространственной ориентации по сигналам навигационных космических аппаратов (НКА), входящих в глобальную навигационную спутниковую систем (ГНСС), с использованием навигационной аппаратуры потребителя (НАП), находит все большее применение. Использование угломерной НАП (УНАП) с двумя и более антеннами на объекте обеспечивает определение положения потребителя не как материальной точки, а

как трехмерного объекта и, в отличие от систем ориентации, построенных на инерциальных чувствительных элементах (гироскопах и акселерометрах), не обладает свойством увеличения систематической погрешности измерения углов пространственной ориентации с увеличением интервала времени проведения измерений. Уровень требований потребителей к точности информации о пространственной ориентации по сигналам ГНСС за последнее время значительно возрос. Для выполнения задач обеспечения потребителя информацией о его пространственном положении, поставленных в рамках Федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС» на 2012 – 2020 годы», потребовалась разработка высокоточной УНАП с погрешностями измерений углов пространственной ориентации 12 угловых минут. При этом типовые требования потребителей для этого параметра ранее задавались на уровне более 36 угловых минут.

Поэтому тема диссертации Фролова А.А., посвященная совершенствованию методов измерения углов пространственной ориентации угломерной навигационной аппаратурой потребителя, является актуальной.

Объектом исследования являются эталоны и высокоточные средства измерений, обеспечивающие уменьшение погрешности измерений углов пространственной ориентации и начальную юстировку УНАП.

Предметом исследования являются методы, обеспечивающие уменьшение погрешности измерений углов пространственной ориентации и начальную юстировку УНАП.

Цель работы заключается в повышении точности и оперативности измерений углов курса, крена, тангажа угломерной навигационной аппаратурой потребителя ГЛОНАСС. Для ее достижения в диссертации решены следующие задачи:

1. Проведен анализ существующих средств измерений и методов уменьшения погрешности измерений углов пространственной ориентации УНАП, методов начальной юстировки УНАП.

2. Уточнена модель погрешности формирования разности фаз несущих частот навигационных сигналов на РЧ-выходах имитатора сигналов ГНСС для определения возможности его использования в качестве рабочего эталона.

3. Разработан метод калибровки имитатора сигналов ГНСС в части систематической погрешности формирования разности фаз несущих частот навигационных сигналов на РЧ-выходах.

4. Разработан метод передачи единицы плоского угла составной части рабочего эталона координат местоположения, применяемого для измерения углов пространственной ориентации.

5. Разработан метод передачи единицы плоского угла УНАП без её демонтажа с объекта в полевых условиях.

6. Разработан метод оперативной начальной юстировки УНАП на объекте испытаний (объекте эксплуатации).

Объем и оформление работы соответствует требованиям ВАК для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Во **введении** диссертационной работы рассмотрены требования потребителей к погрешностям измерений углов пространственной ориентации, состояние обеспечения единства измерений УНАП, специфика оценки точностных характеристик аппаратуры на этапах разработки (изготовления), начальной юстировки и эксплуатации.

В **первой главе** рассмотрены структура УНАП и особенности её функционирования в составе объектов, а также проведен анализ существующих методов и средств, используемых для оценки точностных характеристик и начальной юстировки УНАП. На основе анализа методов оценки точностных характеристик УНАП и начальной юстировки УНАП на объектах размещения, обоснована необходимость разработки нового метода передачи единицы плоского угла с расширенной неопределенностью менее 0,35 угловых минут при коэффициенте охвата 2, метода оперативной начальной юстировки УНАП на объектах потребителей, обладающего требуемой точностью.

В второй главе приведены результаты разработки и анализа составляющих расширенной модели погрешности формирования разности фаз несущих частот сигналов НКА имитатором сигналов ГНСС. Анализ показал, что у существующих типов имитаторов сигналов требуемое значение погрешности формирования разности фаз достигается калибровкой имитатора сигналов ГНСС в части систематической погрешности формирования разности фаз. Метод калибровки должен иметь расширенную неопределенность при коэффициенте охвата 3 не более 1-го углового градуса.

В третьей главе приведены результаты разработки метода калибровки имитатора сигналов в части систематической инструментальной погрешности формирования разности фаз. Предлагаемый метод измерения разности фаз несущей частоты основан на использовании широкополосного осциллографа в качестве аналого-цифрового преобразователя. Достигнутая точность метода калибровки подтверждена экспериментально. Получена сходимость результатов в 0,7 углового градуса между разработанным методом и результатами измерений Государственного вторичного эталона единиц комплексных коэффициентов передачи в диапазоне от 0 до минус 60 дБ и комплексных коэффициентов отражений в диапазоне от 0,002 до 1 в диапазоне частот от 0,05 до 65 ГГц (рег. № 2.1.ZZT.0210.2015).

В четвертой главе представлены результаты разработки метода передачи единицы плоского угла от рабочих эталонов (РЭ) единицы плоского угла (тахеометра) составной части РЭ координат местоположения первого разряда. Метод также может быть использован для определения точностных характеристик УНАП без демонтажа с объекта эксплуатации. Приведен перечень условий при которых обеспечивается расширенная неопределенность метода.

В пятой главе приведены результаты разработки метода начальной юстировки. Метод основан на использовании разработанного в главе 4 метода косвенных измерений с использованием тахеометра и применения критерия проверки однородности средних при статистической обработке результатов

измерений угломерной НАП. С помощью разработанного метода начальной юстировки экспериментально подтверждена возможность сокращения времени на эту операцию в два и более раз при сохранении требуемых значений погрешности. Разработанный метод отличает универсальность применения. Он применим для объектов установки УНАП любых габаритных размеров, а также для угломерных антенных систем любой конструкции и количества антенн.

В заключении сформулированы выводы, которые правильно отражают содержание полученных результатов.

Наиболее значимые научные результаты и научная новизна диссертационной работы

Автором впервые:

- разработан метод передачи единицы плоского угла рабочим эталонам для координатно-временных средств измерений и УНАП в полевых условиях с использованием высокоточного тахеометра. Метод позволил проводить калибровку составной части рабочего эталона координат местоположения первого разряда с требуемым значением неопределенности, проводить поверку УНАП без снятия с объектов эксплуатации и обеспечить заданную точность метода начальной юстировки;

- предложена расширенная модель погрешности воспроизведения разности фаз несущих частот сигналов НКА имитатором сигналов ГНСС, учитывающая схемотехнические особенности имитатора. Модель позволила обосновать требования к точностным характеристикам имитаторов сигналов ГНСС для использования их в качестве рабочих эталонов для обеспечения единства измерений УНАП;

- разработан метод определения калибровочных поправок к воспроизводимым имитатором сигналов разностям фаз несущих частот сигналов навигационных космических аппаратов в имитаторе сигналов ГНСС с расширенной неопределенностью 1° . Метод позволяет обеспечить требуемое

значение погрешности формирования разности фаз имитаторами сигналов ГНСС;

- разработан оперативный метод начальной юстировки УНАП. Метод впервые прослеживается к государственному первичному эталону единицы плоского угла.

Практическая значимость проведенных исследований и полученных научных результатов

Практическая значимость диссертации состоит в том, что разработанные методы косвенных измерений за счет заимствования эталонов из других поверочных схем позволили уменьшить погрешности и повысить оперативность измерения углов пространственной ориентации высокоточными образцами УНАП. Также разработанные методы составили техническую основу обеспечения единства измерений для средств измерений углов пространственной ориентации по сигналам ГНСС, позволили повысить эффективность использования УНАП в составе объектов размещения.

Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность положений диссертации определяется использованием корректных математических моделей, применением апробированного аппарата теории погрешностей (неопределенностей).

Апробация и публикации

Диссертационная работа Фролова А.А. прошла достаточную практическую апробацию (результаты практической апробаций разработанных методов представлены в диссертационном исследовании), её основные научные и практические результаты докладывались на 11 национальных и международных конференциях. Основное содержание диссертации изложено в 16 публикациях, в том числе 4 опубликовано в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК.

Рекомендации по использованию результатов и выводы

Полученные результаты работы целесообразно использовать в организациях радиотехнического профиля, занимающихся разработкой НАП

(АО «Научно-производственное предприятие «Радиосвязь», АО «КБ НАВИС», Филиал АО «Объединенная Ракетно-Космическая Корпорация» - «Научно-исследовательский институт космического приборостроения», АО «Российские космические системы» и др.), а также в научно-исследовательских организациях (ФГБУ «Главный Научный Метрологический Центр» Министерства обороны Российской Федерации, ФГУ «3 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации, АО «ЦНИИмаш», Национальный Исследовательский Университет МЭИ, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) и др.), занимающихся вопросами разработки и испытаний навигационной аппаратуры.

Недостатки и замечания

1) Второе и третье положения, выносимые на защиту, содержат численные значения достигнутых в рамках диссертационного исследования погрешностей (угловой градус по измерению разности фаз, 0,35 угловых минут по измерению углов пространственной ориентации), но не содержат сведений о значениях этих погрешностей, обеспечиваемых известными методами (во сколько раз или на сколько процентов была уменьшена погрешность).

2) Второе положение не содержит констатации достигнутого уменьшения расширенной неопределенности измерения разности фаз. Из положения непонятно, за счет чего обеспечивается определение калибровочных поправок к воспроизводимым имитатором сигналов разностям фаз несущих частот сигналов навигационных космических аппаратов с расширенной неопределенностью 1 угловой градус.

3) В тексте диссертации и автореферате не отражена прослеживаемость осциллографов цифровых, используемых при измерении разностей задержек навигационного сигнала по фазе несущей частоты, к Государственному первичному эталону единицы угла фазового сдвига между двумя электрическими сигналами в диапазоне частот от 0,1 МГц до 65 ГГц ГЭТ 207-2013.

4) В диссертационной работе все результаты по измерению разности фаз, формируемой имитатором сигналов ГНСС, получены для сигналов системы ГЛОНАСС с частотным разделением. В работе не приведены результаты измерений разности фаз сигналов ГЛОНАСС с кодовым разделением, сигналов других спутниковых навигационных систем (GPS, GALILEO, BEIDOU).

Отмеченные недостатки несколько снижают впечатление от диссертационной работы, но тем не менее, не влияют на общую положительную оценку результатов диссертации.

Заключение

Основным достоинством работы Фролова А.А. является практическая направленность полученных автором результатов исследований. Эти исследования напрямую связаны с совершенствованием системы обеспечения единства измерений измерения углов пространственной ориентации УНАП путем разработки методов передачи единиц величин из разных поверочных схем (плоского угла и угла фазового сдвига между двумя электрическими сигналами) УНАП. Результаты диссертации позволяют рассчитывать на более эффективное решение задач контроля характеристик УНАП в процессе их разработки и испытаний.

Тема диссертации актуальна, диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решены новые частные научные задачи.

Результаты диссертации обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью, в достаточной степени представлены в опубликованных научных трудах автора.

Автореферат диссертации полностью отражает ее основное содержание.

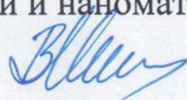
Использование результатов работ других авторов сопровождается корректными ссылками на их публикации.

Отмеченные замечания не снижают научную значимость диссертации и общую положительную оценку работы.

Диссертация Фролова А.А. отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения научных степеней...», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение».

Отзыв составлен после ознакомления с диссертацией и авторефератом, а также на основании доклада Фролова А.А. на научном семинаре Научно-исследовательского отделения голографии, оптической томографии, нанотехнологий и наноматериалов (М-44) 15 ноября 2022 г.

Начальник Научно-исследовательского
отделения голографии, оптической
томографии, нанотехнологий и наноматериалов
(НИО-М44) д.т.н.



Минаев Владимир Леонидович

Начальник лаборатории М-44-2, д.т.н.,
профессор



Вишняков Геннадий Николаевич

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» (ФГУП «ВНИИОФИ») Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, 119361, г. Москва, ул. Озерная, 46
Тел.: (495)437-56-33; vniiofi@vniiofi.ru, <https://www.vniiofi.ru>