ОТЗЫВ

официального оппонента 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»

Актуальность темы

Тема диссертации представляет интерес, прежде всего, для специалистов-разработчиков методов и аппаратуры определения пространственной ориентации объектов по сигналам спутниковых радионавигационных систем. Материалы диссертации могут быть полезными также более широкому кругу специалистов, работающих в области создания систем и устройств навигации, радиопротиводействия, приборостроения и связи, где для решения проблем управления объектами востребованы устройства определения углов ориентации.

На сегодняшний день наиболее распространенным средством предоставления потребителю информации о пространственной ориентации являются инерциальные навигационные системы (ИНС).

Инерциальная навигация и позиционирование не требуют внешней информации, что является ее главным достоинством. Исходные данные, которые использует ИНС для расчетов, поступают от нее самой, при этом ИНС не подвержена влиянию внешних помех и не посылает никаких сигналов во внешний мир, не говоря уже о помощи какого-либо другого оборудования, поэтому именно ИНС в основном используются в Вооруженных силах.

Однако в последнее время ИНС не всегда удовлетворяют все возрастающим требованиям потребителей. Инерциальная навигация имеет большое ограничение: накопленные ошибки. Все расчеты являются количественными, и неизбежно будут ошибки. Инерциальная навигация рассчитывается непрерывно, и накопленные ошибки могут достигать

ФГУП «ВНИИРАГ»
Вх. № 18954
«16» 11 2022 г.
НЕ ЛИСАХ
ИЗДАТЕЛЬСТВО РАДИОТЕХНИКИ

неприемлемых уровней. Решением этой проблемы обычно является компенсация и коррекция: время от времени по данным альтернативного источника навигационной информации следует корректировать оценки положения, скорости, угловой скорости и ориентации, формируемые ИНС, для исправления накопленной погрешности.

По этим причинам все больший интерес у пользователей вызывает технология определения углов пространственной ориентации по сигналам навигационных космических аппаратов (НКА) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), таких как ГЛОНАСС, GPS, а также интегрированный режим ориентирования по сигналам ГНСС и ИНС.

За последнее десятилетие уровень требований потребителей к точности информации о пространственной ориентации по сигналам ГНСС 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 нового класса аппаратуры - высокоточной УНАП с погрешностями измерений углов пространственной ориентации: 12' (6' для угла курса и 8' для углов крена и тангажа (при доверительной вероятности 0,95).

Существующие методы оценки точностных характеристик угломерной навигационной аппаратуры потребителя (УНАП) основаны на использовании специальных измерительных средств (наклонно-поворотные стенды, высокоточная интегрированная инерциально-спутниковая аппаратура) и требуют демонтажа УНАП с объектов размещения. Кроме того, эти методы не позволяют определить систематическую составляющую погрешности измерения углов пространственной ориентации УНАП с требуемой точностью.

Поэтому не вызывает сомнений, что совершенствование системы обеспечения единства измерений углов курса, крена, тангажа угломерной навигационной аппаратурой потребителя ГЛОНАСС является **важной и актуальной научной задачей** современной метрологии.

Задачи реализации предложенного в диссертации А.А. Фролова концептуального подхода и его научное обоснование потребовали выполнения целого ряда сложных исследований, а также разработки различных методов уменьшения погрешности измерений углов пространственной ориентации и методов начальной юстировки УНАП. Такая работа неизбежно связана с получением новых научных результатов, имеющих отношение к данному научному направлению.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Представленная для анализа диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованных источников.

Во введении дана общая характеристика диссертации: обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, определена научная новизна и практическая ценность полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, дается краткое содержание диссертационной работы.

В первой главе рассмотрены структура УНАП и особенности её функционирования в составе объектов, проанализированы достоинства и выявлены недостатки существующих решений, проведен анализ существующих методов и средств, используемых для оценки точностных характеристик и начальной юстировки УНАП. Сформулированы предложения по оценке точностных характеристик УНАП в местах её штатного размещения без прерывания работы.

Отдельно рассмотрен вопрос разработки нового метода передачи единицы плоского угла с расширенной неопределенностью $U \leq 0,35'$ при коэффициенте охвата 2, а также нового метода оперативной начальной юстировки УНАП на объектах потребителей, обладающего требуемой точностью.

Во второй главе приведены результаты разработки и анализа составляющих расширенной модели погрешности формирования разности фаз несущих частот сигналов НКА имитатором сигналов ГНСС.

Показано, что для уменьшения погрешности формирования разности фаз сигналов ГНСС в имитаторе (не более $1,8^\circ$), в перспективных разработках имитаторов необходимо обеспечить следующие характеристики:

СКО формирования задержки по фазе несущей частоты $S_p < 0,3$ мм ($< 0,6^\circ$);

разрядность кода ЦАП, управляющего формированием фазой несущей частоты, не менее 11;

Кроме того, для обеспечения единства измерений таких имитаторов сигналов ГНСС необходимо применение метода калибровки с расширенной неопределенностью ($k=3$) не более $0,5^\circ$.

В третьей главе приведены результаты разработки метода калибровки имитатора сигналов в части систематической инструментальной погрешности формирования разности фаз. В отличие от существующего метода калибровки по интервалу времени между немодулированными гармоническими несущими, новый метод основан на использовании двухканального высокочастотного аналого-цифрового преобразователя с последующей демодуляцией выборок сигналов НКА для определения участков выборок с линейным изменением фазы.

Разработанный метод позволил обеспечить требуемую точность формирования разности фаз для существующих типов имитаторов сигналов ГНСС.

В четвертой главе представлены результаты разработки метода передачи единицы плоского угла от рабочего эталона (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.

Предложенный метод позволяет проводить аттестацию составной части рабочего эталона координат местоположения 1 разряда, поверку УНАП без демонтажа с объектов эксплуатации и обеспечивает заданную погрешность определения углов пространственной ориентации при начальной юстировке прецизионных образцов УНАП на объектах эксплуатации.

В пятой главе приведены результаты разработки метода начальной юстировки угломерной навигационной аппаратуры потребителей на объектах размещения. Метод позволил в 2 и более раз сократить время, необходимое на юстировку УНАП на объекте размещения, за счет сокращения необходимого количества измерений УНАП и времени на их проведение.

Для разработанного метода юстировки определены условия успешной реализации: отсутствие вертикальных отражающих поверхностей в месте проведения работ по начальной юстировке УНАП или размещение антенн УНАП не ближе 1500 м от отражающих поверхностей.

В заключении изложены итоги выполненных исследований, которые послужили основой для совершенствования методов измерения углов пространственной ориентации угломерной навигационной аппаратурой потребителя ГЛОНАСС.

Основные научные положения разработанной в диссертации теории измерения углов пространственной ориентации основываются на известных достижениях фундаментальных и прикладных научных дисциплин математики, метрологии, радиотехники. В своей работе диссертант грамотно пользуется математическим аппаратом, общепринятыми понятиями и терминами в метрологии, математике, радиотехнике, а также современными программными средствами.

На основе разработанных положений, теоретических исследований по метрологическому обеспечению, разработанных методов координатно-временных средств измерений и разработки составной части рабочего эталона (РЭ) координат местоположения первого разряда для измерения углов пространственной ориентации, а также анализа большого числа данных

экспериментальных исследований, соискателем получен комплекс **новых научных результатов**. Наиболее важными среди них, на мой взгляд, являются предложенный подход к оперативной начальной юстировке УНАП на объектах размещения. Разработанный метод начальной юстировки отличает универсальность применения. Он применим для объектов установки УНАП любых габаритных размеров, а также для угломерных антенных систем любой конструкции и количества антенн в системе.

Данные исследования использовались:

при создании новых нормативных документов Государственной поверочной схемы для координатно-временных средств измерений (Приказ Росстандарта № 2831 от 29.12.18);

при разработке и внедрении новых Государственных эталонов (Государственного рабочего эталона единиц координат местоположения первого разряда – комплекса эталонного формирования и измерения радионавигационных параметров ЭФИР);

в ОКР «Метрология-2016»;

СЧ ОКР «Орт-В»;

методиках поверки аппаратуры МРК-32;

аппаратуры навигационной потребителей глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS «Бриз-КМ» – радионавигационный комплекс морского применения (индекс 14Ц854);

угломерной НАП для средств поражения (УНАП-П);

угломерной НАП для средств обеспечения, разведки и АСУВ (УНАП-О);

угломерной НАП для использования в составе беспилотных летательных аппаратов (УНАП-Б).

Практическая ценность результатов исследования подтверждается соответствующими актами.

Оценка новизны и достоверности научных положений и результатов диссертации

На мой взгляд, защищаемые положения и связанные с ними результаты работы, а также вытекающие из них рекомендации вполне оригинальны и являются новыми. Для подтверждения достоверности теоретических положений, и расчетов автором проведен большой объем экспериментальных исследований, которые позволяют провести оценку качества измерений углов пространственной ориентации объектов.

Многие полученные результаты сопоставляются с результатами, которые получены и опубликованы другими авторами.

Оформление диссертации соответствует требованиям, установленным Министерством образования Российской Федерации. Автореферат диссертации полностью соответствует её содержанию и структуре. Изложение материалов диссертации последовательно и логично, термины и определения, используемые автором, являются понятными и общепринятыми в научной и технической литературе. Некорректных ссылок и заимствований в работе не обнаружено.

Материалы диссертации достаточно **полно опубликованы** в печати и доложены на международных, всероссийских, региональных и отраслевых научно-технических конференциях. Изложение материала последовательное и логичное, употребляемые термины и определения общеприняты в научной и технической литературе. Содержание работы соответствует специальности, по которой она представлена.

Замечания по работе

Выполненный анализ диссертации показал:

1. В разработанном методе косвенных измерений углов пространственной ориентации с использованием тахеометра, введенные допущения при расчетах коэффициентов чувствительности («тахеометр должен располагаться как можно ближе к строительной оси объекта», «размещение тахеометра и объекта приблизительно на одной высоте») в большинстве случаев трудно реализуемы на практике. Фактические значения неопределенностей при выполнении

натурных измерений могут превышать значения, полученные в диссертационной работе.

2. В разработанном методе определения калибровочных поправок к воспроизводимым имитатором сигналов ГНСС разностям фаз несущих частот сигналов навигационных космических аппаратов, требование к длительности участка линейного изменения фазы навигационного сигнала не менее 200 нс (раздел 3.3 «Выводы», п. 5, дефис 7) справедливо для частоты дискретизации АЦП 20 ГГц. Так как в условиях применимости метода заявляется «не ниже 20 ГГц» (раздел 3.3 «Выводы», п. 5, дефис 5), то требование к длительности линейного участка должно зависеть от частоты дискретизации АЦП».

3. Рисунки, приведенные в диссертации, выполнены с нарушением ГОСТ, особенно при построении графиков. (Не показаны стрелки на осях, оси не всегда подписаны (рис.3.10, 4.11), легенда на разных рисунках отображена по-разному).

4. В диссертации при транслировании текста в формат PDF не отразились автоматические ссылки. (например стр.36 «Ошибка! Источник ссылки не найден.унке 1.19.»)

Заключение о соответствии диссертации требованиям Положения ВАК

Исходя из выполненного выше анализа, резюмирую, что диссертация Фролова Анатолия Александровича представляет собой научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, которая отличается своим внутренним единством структуры и содержания.

В ней на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований разработаны положения, позволившие обосновать методы уменьшения погрешности измерений углов пространственной ориентации.

В работе предложено большое число оригинальных технических решений и разработок, касающихся измерения пространственной ориентации объектов и калибровки средств измерений. В результате этого получены важные