



Автономная некоммерческая организация

"Институт инженерной физики"

(АНО "Институт инженерной физики")

Большой Ударный пер., д. 1А, стр. 1, г. Серпухов,

г.о. Серпухов, Московская обл., 142210

тел. 8(4967)353193; 351371; 8-499-400-05-75

факс: 8(4967)354420

e-mail: info@iifmail.ru; http://www.iifrf.ru

ОКПО 58914325, ОГРН 1225000027108,

ИНН/КПП 5043075306/504301001

01.12.2022 № 9/ОИЗ/НТБ

на № _____ от _____

Отзыв официального оппонента

Уважаемый Михаил Валентинович!

Направляем в Ваш адрес отзыв официального оппонента Берковича Сергея Борисовича на диссертационную работу Фролова Анатолия Александровича.

Приложение: «Отзыв...» на 6 л. в 2 экз.

Генеральный директор —
Первый Вице-президент Института

С уважением,

Е.М. Ананьев

ФГУП «ВНИИФТРИ»	
Вх. №	<u>20024</u>
«02»	<u>12</u> 20 <u>22</u> г.
на	<u>1</u> листах
всего	<u>12</u> листов

Ученому секретарю
диссертационного совета 32.1.004.01
М.В. Балаханову
141570, Московской обл., Солнечногорский
р-н, р.п. Менделеево

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Берковича Сергея Борисовича на диссертационную работу Фролова Анатолия Александровича, выполненную на тему «Совершенствование методов измерения углов пространственной ориентации угломерной навигационной аппаратурой потребителя ГЛОНАСС» и представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение»

Актуальность темы диссертации. Требования к повышению точности определения параметров пространственной ориентации подвижных объектов непрерывно возрастают.

Повышение точности определения параметров пространственной ориентации подвижных объектов средствами автономных навигационных систем, реализующих метод счисления пути, в настоящее время проблематично из-за нарастания погрешностей измерений навигационных датчиков в функции времени.

Технологические возможности повышения точности навигационных датчиков и приборов, обеспечивающих высокоточное автономное позиционирование объектов при безостановочном автономном движении по протяженным маршрутам на основе реализации методов счисления пути, в настоящее время и на далекую перспективу исчерпаны.

Известны системы определения параметров пространственной ориентации подвижных объектов на основе применения спутниковой аппаратуры потребителя (НАП), что в принципе исключает нарастание погрешностей в функции времени (пройденного пути).

Область применения ограничена из-за низкой точности, при ограничениях на длину базисных линий между НАП, что связано с резким возрастанием погрешностей определения пространственных параметров при даже незначительных систематических погрешностях фазовых измерений и отсутствием возможности калибровки (оценки значений систематических погрешностей) непосредственно в процессе эксплуатации.

В работе рассматривается направление повышения точности определения параметров пространственной ориентации подвижных объектов спутниковой аппаратурой потребителя (НАП) путем оценки инструментальных погрешностей на различных этапах эксплуатации:

- систематических погрешностей в лабораторных условиях, с применением имитаторов радионавигационных сигналов с последующей калибровкой;
- погрешностей измерения углов пространственной ориентации с применением марок рефлекторных, что обеспечивает решение задачи оценки погрешностей в полевых условиях без демонтажа НАП.

Реализация такого подхода предполагает обоснование модели погрешности формирования разности фаз несущих радионавигационных сигналов на РЧ-выходах имитатора сигналов ГНСС для определения возможности его использования в качестве рабочего эталона, разработку методик калибровки, передачи единицы плоского угла УНАП без её демонтажа с объекта в полевых условиях, оперативной начальной юстировки УНАП на объекте испытаний (объекте эксплуатации).

С этих позиций тема диссертационных исследований, безусловно, является актуальной.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность.

К результатам, выносимым на защиту и представленным в диссертации, автор относит следующие положения:

1. Предложенная модель погрешности формирования разности фаз несущих частот навигационных сигналов ГНСС учитывает составляющие погрешности, обусловленные дискретностью перестройки фазы несущей частоты сигналов и неидентичность частотно-зависимых элементов радиотрактов и обеспечивает:

- обоснование требований к точности методов определения калибровочных поправок к формируемым разностям фаз навигационных сигналов: необходим

метод калибровки с расширенной неопределенностью ($k=3$) 1° для существующих типов имитаторов и 0.5° для разрабатываемых имитаторов;

- обоснование требований к точностным характеристикам имитатора сигналов ГНСС для уменьшения погрешности измерений углов пространственной ориентации высокоточными образцами УНАП.

2. Метод определения калибровочных поправок к воспроизводимым имитатором сигналов разностям фаз несущих частот сигналов навигационных космических аппаратов с расширенной неопределенностью ($k=3$) 1° .

3. Метод передачи единицы плоского угла без демонтажа угломерной НАП в полевых условиях, основанный на использовании рабочего эталона единицы плоского угла (тахеометра), который обеспечивает определение значений углов курса, крена и тангажа с расширенной неопределенностью ($k=2$) $0,35'$.

4. Метод начальной юстировки УНАП, основанный на применении критерия проверки однородности средних, обеспечивающий снижение продолжительности этой операции в 2 и более раз.

Логика проведения исследований не противоречит общим принципам проведения научных исследований: на первом этапе подробно проведен анализ методов и средств оценки точностных характеристик УНАП на различных этапах эксплуатации, обоснован вывод о необходимости разработки научно-методического аппарата обеспечения передачи единицы плоского угла и математической модели погрешностей формирования разности фаз; на втором этапе разработаны математическая модель, научно - методический аппарат оценки калибровочных коэффициентов и передачи единиц плоского угла; на третьем этапе представлены результаты начальной юстировки угломерной навигационной аппаратуры на объекте размещения.

Обоснованность результатов исследований подтверждена результатами расчетно-экспериментальных исследований.

Сущность предложенного подхода повышения точности заключается в разработке научно-методического аппарата, обеспечивающего оценку, ранее неопределяемых составляющих модели погрешностей НАП и применения новых поверочных схем на различных этапах эксплуатации.

Несомненным достоинством работы является ее направленность на решение практических вопросов - повышение точности определения пространственной ориентации подвижных объектов с обоснованием технологии проведения проверок и калибровок.

Все теоретические результаты подтверждены результатами математических вычислений при различных условиях.

Сходимость результатов аналитических вычислений и результатов экспериментальных данных высокая, а согласованность полученных результатов с известными результатами свидетельствует об удовлетворении требованиям по обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научная новизна результатов

1. Разработаны методика и совокупность математически соотношений, обеспечивающих передачу единицы плоского угла рабочим эталонам для координатно-временных средств измерений и УНАП в полевых условиях с применением марок рефлекторных, что впервые обеспечивает проведение калибровок рабочего эталона с требуемым значением неопределенности без снятия УНАП с объектов эксплуатации и процедуру начальной юстировки.

2. Разработанная расширенная математическая модель погрешности воспроизведения разности фаз несущих радионавигационных сигналов НКА имитатором сигналов ГНСС, учитывающая дискретность перестройки фазы высокочастотного сигнала и неидентичность частотно-независимых элементов радиотрактов, обеспечивает формирование расширенного вектора погрешностей задания разности фаз и обоснование требований к точностным характеристикам имитатора сигналов для использования его в качестве рабочего эталона.

3. Решена задача оценки выбора участков несущих радионавигационных сигналов с линейным изменением фазы сигналов, что обеспечивает оценку разности фаз радионавигационных сигналов с меньшей неопределенностью, значения оценок разности фаз являются исходными данными для решения задачи последующего определения значений калибровочных коэффициентов при воспроизведении имитатором радионавигационных сигналов разностей фаз с расширенной неопределенностью 1° .

Практическая значимость результатов состоит в том, что полученные результаты обеспечивают проведение проверок и юстировок УНАП на различных этапах эксплуатации с повышением точности определения угловой ориентации подвижного объекта на 70%.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Основные научные результаты опубликованы в 15 научно-технических

статьях по теме диссертационных исследований, 4 – в изданиях, включенных в перечень ВАК.

Несомненным достоинством является доведение результатов до практической реализации.

В диссертации представлены результаты, которые получены лично и в соавторстве.

Несмотря на все достоинства диссертации, необходимо отметить и следующие замечания (рекомендации):

1. На стр. 8 диссертации автор утверждает, что изменение длины антенной базы на 1 мм приводит к увеличению погрешностей измерения углов на 3'. Утверждение не вполне корректно, так как изменение длины вдоль линии, соединяющей два приемника не изменяет значение угла ориентации, а при изменении положения приемника на 1 мм вдоль линии перпендикулярной антенной базе, да, действительно приведет к погрешности 3'.

2. Научная новизна приведена в виде практических результатов (стр.12-13).

3. На стр. 22 раскрыты и описаны не все переменные.

4. В работе не полностью раскрыт механизм определения ориентации строительных осей объекта.

5. Автор претендует на расширенную математическую модель, а в диссертации (глава 2, стр.39) приведены результаты уточнения модели погрешностей.

6. Автор обосновывает соотношения после обнаружения линейных участков изменения фазы, хотя на рис. 3.6 стр. 37 приводит не линейные участки, а участки с постоянным значением амплитуды.

7. Формулировки методов автор определяет составом измерительных средств или последовательностью операций, не раскрывая сущности и принципа.

8. Основным недостатком является отсутствие в явном виде математических постановок решаемых задач, что усложняет проведения анализа на предмет новизны полученных результатов.

В целом, замечания не снижают общий уровень проведенных исследований и полученных результатов.

Вывод: Диссертация Фролова Анатолия Александровича, обладает внутренним единством, является законченной научно - квалификационной работой, в которой обоснованы технологические и алгоритмические решения оценки погрешностей, юстировки и калибровки УНАП на различных этапах эксплуатации,

По уровню актуальности, научной новизны, практической значимости, обоснованности и степени реализации полученных результатов диссертационная работа соответствует требованиям и критериям «Положение о присуждении ученых степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

«20» ноября 2022 г.

С. Б. Беркович

Подпись Берковича С.
Начальник отдела кадров

В.В. Евченко

Организация - Автономная некоммерческая организация
«Институт инженерной физики» (АНО «Институт инженерной физики»).