



30.11.2023 исх. № 09001-27161  
На № 02-08/10232 от 26.10.2023

Председателю Диссертационного  
совета 32.1.004.01  
ФГУП "ВНИИФТРИ"

А.Н. Щипунову

**Отзыв официального оппонента  
на диссертацию Давлатова Р.А.**

Уважаемый Андрей Николаевич!

Представляю Вам отзыв официального оппонента на диссертационную работу Давлатова Руслана Аскарджоновича "Разработка методов измерения градиентов гравитационного потенциала в околоземном пространстве", представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8 "Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды".

Приложение: Отзыв на 7 л. в 2 экз.

Главный учёный секретарь

*С уважением,*  


В.Ю. Ключников

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Давлатова Руслана Аскарджоновича

"Разработка методов измерения градиентов гравитационного потенциала в околоземном пространстве", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8 "Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды"

### **Актуальность избранной темы**

Последние события наглядно показали, что глобальные навигационные спутниковые системы (далее – ГНСС), обладающие высокой точностью определения местоположения потребителя, подвержены подавлению или искажению навигационного сигнала на определённой территории, где используются системы РЭБ. Сегодня эта проблема в навигации вышла на передний рубеж, затмив, по сути, классическую и хорошо описанную в литературе, когда уровень навигационных сигналов ниже порогового значения, например, туннели, каньоны, узкие городские улицы, либо приём ГНСС-сигналов вообще невозможен: под водой или под землёй.

Для исключения указанных недостатков возможно дополнение ГНСС автономными помехозащищёнными системами навигации, например, бесплатформенными инерциальными навигационными системами (далее – БИНС), разработка которых не теряет своей актуальности в наше время особенно и является актуальной инновационной проблемой. Трудноразрешимой задачей при создании таких систем является накопление погрешности определения координат движущегося объекта, которую при длительных интервалах времени движения необходимо корректировать.

Одним из наиболее перспективных направлений исследований в этой области является создание системы коррекции показаний БИНС на основе измерений текущих параметров гравитационного поля Земли (далее – ГПЗ). Но для эффективного применения таких систем необходимы точные и детальные карты характеристик ГПЗ, которые будут использоваться в качестве эталонных значений, например, вторых производных геопотенциала – его градиентов.



Таким образом, подготовка цифровых карт ГПЗ, или навигационных гравиметрических карт, является одной из первостепенных задач для реализации систем автономной навигации. Наиболее эффективным способом картографирования ГПЗ является аэрогравиметрия, но её применение на зарубежных территориях является недоступным. Поэтому остаётся полагаться на разработку и применение методов космической геодезии, в силу их глобальности и всепогодности, а диссертационная работа Р.А. Давлатова, посвящённая разработке методов измерений составляющих градиентов гравитационного потенциала в околоземном пространстве для создания навигационных гравиметрических карт (далее – НГК) на любую территорию для обеспечения корректирующей информацией БИНС, является актуальным научным исследованием.

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

В диссертационной работе выполнен подробный анализ методов и средств измерений параметров физических полей Земли, систем автономной навигации с использованием инерциальных навигационных систем (далее – ИНС). Выполнен обзор методов и средств коррекции ИНС с использованием физических полей Земли: гипсометрического, магнитного, гравитационного, радиолокационного, оптического и радиотеплового.

Выполнен анализ требований к точности бортовых гравиметрических средств измерений и НГК, требований к гравиметрической информации на поверхности Земли и в околоземном пространстве. Анализ методов и космических средств измерения профиля высоты геоида, определения аномалий силы тяжести и второго градиента геопотенциала с использованием спутникового радиовысотомера.

Проведены исследования существующих методов и средств определения параметров ГПЗ и его цифровых моделей, моделей рельефа и плотностей пород Земли для создания НГК.

Исследованы методы и средства космической градиентометрии, методы и средства калибровки бортовых космических градиентометров.

По результатам выполненного анализа и исследований автором определены основные научные положения, выносимые на защиту.

1. Метод измерений составляющих градиентов гравитационного потенциала на основе многоспутникового кластера космических аппаратов обеспечивает измерение составляющих первого градиента с погрешностью не более 0,020 мГал, второго градиента – с погрешностью не более



0,003 Этвеш, третьего градиента – с погрешностью не более 0,001 Этвеш/км с детальностью 1 км.

2. Метод измерений составляющих второго градиента с использованием космического трёхосного лазерного градиентометра на свободных массах на основе бортового лазерного интерферометра обеспечивает измерение составляющих второго градиента с погрешностью не более  $10^{-4}$  Этвеш и детальностью 1 км.

3. Метод бортовой калибровки космического градиентометра с использованием бортовой калибровочной массы обеспечивает в полёте неопределённость калибровки не более  $10^{-5}$  Этвеш.

Обоснованность научных положений, выносимых на защиту, подтверждается строгостью разработанного математического аппарата, проведением имитационного моделирования перспективных гравитационных градиентометров, проведением натуральных экспериментов на специально созданном стенде макета лазерного одноосного градиентометра.

### **Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- результатами выполненных грантов, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в которых автор принимал личное участие;
- публикациями автора в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России;
- докладами автора на научно-технических конференциях и симпозиумах;
- двумя патентами на изобретение.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается научной корректностью поставленных задач исследований, согласованностью полученных итогов экспериментов выполненных, как имитационным моделированием, так и в натуральных условиях, с теоретическими результатами.

Достоверность результатов моделирования подтверждается результатами серии проведённых натуральных экспериментов на специально созданном стенде макета лазерного одноосного градиентометра.



## **Научная новизна**

В диссертации разработаны элементы теории совместного измерения составляющих первого, второго и третьего градиентов ГПЗ с помощью многоспутникового кластера космических аппаратов с использованием бортовой навигационной аппаратуры ГНСС.

Впервые предложена структура трехосного бортового лазерного градиентометра на свободных массах на основе интерферометров Майкельсона и Фабри-Перо и оценены его характеристики.

Впервые испытан предложенный метод измерения второго градиента на основе созданного наземного макета одноосного лазерного градиентометра на полусвободных чувствительных массах.

Впервые предложен метод калибровки бортовых лазерных космических градиентометров в режиме лётной эксплуатации и сформированы требования к бортовой реализации метода.

Впервые разработан и испытан наземный стенд полунатурного моделирования метода гравитационной калибровки космических градиентометров.

## **Теоретическая и практическая значимость исследований**

Теоретическая значимость исследований заключается в том, что впервые предложены методы определения первого, второго и третьего градиентов на основе бортовой навигационной аппаратуры и кластера малоразмерных космических аппаратов, предложена структура и оценены параметры лазерного бортового градиентометра на основе свободных масс, а также предложен новый метод бортовой калибровки космического градиентометра.

Практическая значимость диссертации заключается в возможности использования её результатов при выполнении следующих работ:

- формирование банка измерительной информации первого, второго и третьего градиентов гравитационного потенциала для создания навигационных гравиметрических карт;
- выполнение редуцирования (переноса) измерений параметров гравитационного поля с орбиты спутника на поверхность Земли;
- уточнение глобальной модели ГПЗ;
- выполнение калибровки бортового космического градиентометра в режиме эксплуатации.



В целом диссертация Р.А. Давлатова является законченным исследованием и представляет решение актуальных задач, объединённых общим подходом и обеспечивающим возможность их системного решения.

Отдельно следует отметить предложение и его обоснование в диссертационной работе по использованию навигационных космических аппаратов ГНСС для решения не только координатной задачи геодезии, но и гравитационной, что расширяет область применения ГНСС.

### **Замечания к содержанию работы**

В качестве замечаний следует отметить следующее.

1. В диссертации в явном виде не представлено обоснование достоверности научных положений.

2. Все системы коррекции БИНС, основанные на физических полях Земли, производят сравнение измеренных параметров с эталонным изображением. В случае, если территория имеет ограниченное количество навигационных ориентиров, применение БИНС является неэффективным, и ГПЗ тут не является исключением.

3. На странице 17 написано, что ГНСС-системы "обеспечивают высокую точность определения координат по всей территории Земли", но не указаны значения погрешностей ГНСС-определений.

4. На странице 17 написано, что БИНС обеспечивает "абсолютную автономность", что является сомнительным утверждением, т.к. для обеспечения её работы требуются начальные координаты и существует дрейф, требующий периодической корректировки. Таким образом, автономность безусловно есть, но явно не "абсолютная".

5. На странице 17 написано: "При интервалах наблюдений в несколько минут и более это не удовлетворяет современным требованиям" без указания числовых характеристик.

6. Смысл рисунка 6 на странице 26 абсолютно не понятен, вероятно, имеется ввиду аналитическое продолжение геопотенциала вниз.

7. На странице 82 в таблице 7 "Требования к интервалу измерений и погрешности приращения расстояния" не указана ссылка на представленные в таблице числовые значения.

8. В Заключение следовало бы сформулировать предложения для практического внедрения полученных разработок и направления дальнейших исследований.



## Заключение

Приведённые замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации и носят в основном редакционный и рекомендательный характер. Диссертационная работа является в достаточной степени завершённым исследованием для подтверждения научной квалификации соискателя. Все выполненные исследования являются актуальными и имеют четко выраженную научную новизну. Диссертационная работа соответствует областям исследования паспорта научной специальности 2.2.8 "Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды", разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России по техническим наукам: 1 – Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующее повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды; 5 – Разработка метрологического обеспечения методов и метрологических характеристик приборов контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующих увеличению достоверности оценки эксплуатационного ресурса изделий и повышения уровня экологической безопасности окружающей среды. Результаты работы опубликованы в 17 научных изданиях, 9 из них в журналах из перечня ВАК Минобрнауки России. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации. Диссертация Давлатова Руслана Аскарджоновича "Разработка методов измерения градиентов гравитационного потенциала в околоземном пространстве" является законченной научной работой, в которой решена научная задача: разработка и исследование характеристик новых методов космической гравиметрии, основанных на использовании свободных масс в космосе.

Следует особо отметить большой личный вклад Давлатова Руслана Аскарджоновича в диссертационное исследование: проводил теоретические исследования, осуществлял математическое моделирование и разрабатывал имитационные модели перспективных гравитационных градиентометров, анализировал и обобщал полученные результаты, разработал структуру и создал наземный макет лазерного одноосного градиентометра, разработал и испытал на специальном изготовленном стенде новый метод калибровки бортовых градиентометров.



Диссертация соответствует критериям п. 9 «Положение о присуждении учёных степеней» ВАК Минобрнауки России, утверждённого постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013, а её автор, Давлатов Руслан Аскарджонович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8 "Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды".

Отзыв был заслушан 22.11.2023 на заседании секции №3 АО "ЦНИИмаш" (протокол №23/44) и получил положительную оценку.

Официальный оппонент:  
кандидат технических наук,  
начальник лаборатории  
отдела 03002 Акционерного  
общества "Центральный научно-  
исследовательский институт  
машиностроения"  
(АО "ЦНИИмаш")



Гусев Игорь Витальевич

«30» ноября 2023 г.

141070, Московская обл., г. Королев, ул. Пионерская, д. 4.

Тел.: +7 (495) 513-50-75

Эл. почта: i.gusev@glonass-iac.ru, GusevIV@tsniimash.ru

Подпись Гусева Игоря Витальевича удостоверяю.

Главный учёный секретарь АО "ЦНИИмаш",  
доктор технических наук



В.Ю. Ключников