

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Давлатова Руслана Аскарджоновича

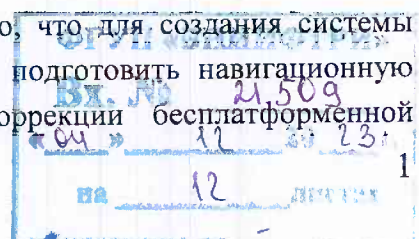
«Разработка методов измерения градиентов гравитационного потенциала в околоземном пространстве», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. - «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды»

Диссертационная работа Р.А. Давлатова посвящена одному из самых перспективных направлений навигации – созданию средств навигации по гравитационному полю, обеспечивающих автономную навигацию и ориентацию в пространстве с высокой точностью и абсолютной помехозащищенностью. Новые средства навигации предполагают трехуровневую реализацию – глобальный, региональный и локальный. Глобальный уровень должен быть представлен средствами космической гравиметрии, обеспечивающих измерения первых и вторых производных гравитационного потенциала, и в конечном итоге обеспечивающих создание моделей ГПЗ высокого пространственного и временного разрешения. Конкретная задача, которая решается в диссертации, как раз направлена на разработку новых методов космической гравиметрии, которые должны повысить точность измерений параметров гравитационного поля. Поэтому тематика диссертации актуальна и имеет большое значение, как для фундаментальной, так и для прикладной науки.

Диссертация общим объемом 175 страниц состоит из введения, четырех глав, где изложено основное содержание работы, заключения и списка использованной литературы из 162 наименований. Она также включает 65 рисунков и 14 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цели и задачи диссертационной работы, защищаемые положения, научная практическая значимость работы, также приведена информация о личном вкладе автора и апробации результатов работы, которые докладывались на 27 научно-технических конференциях. Материалы диссертации хорошо представлены в публикациях (17 публикаций, среди них 9 в российских рецензируемых изданиях), с участием автора также получено несколько патентов на изобретения.

В содержательной части работы (Глава 1) отмечено, что для создания системы навигации по гравитационному полю Земли необходимо подготовить навигационную гравиметрическую карту на определенный участок коррекции бесплатформенной



инерциальной навигационной системы (БИНС). Для этого используются наземные и бортовые гравиметрические средства измерений. Особое внимание должно быть уделено подготовке карт на удаленные и труднодоступные территории и акватории, так как сделать это возможно только космическими средствами измерений. В диссертации выполнен анализ существующих и перспективных космических градиентометров с точки зрения удовлетворения предъявляемым требованиям.

Для достижения необходимой точности измерения параметров ГПЗ автор предлагает использовать многоспутниковый кластер космических аппаратов (Глава 2). В этой связи в работе сформулированы требования к погрешностям измерения параметров ГПЗ, которые оставляют содержание одного из положений, выносимых на защиту.

В работе выполнен анализ научно-технического задела, созданного при разработке космических детекторов гравитационных волн. В проектах космических ГВ детекторов основным средством измерения межспутникового расстояния является лазерная интерферометрическая система. Автор предлагает использовать лазерные дальнометры в многоспутниковых системах геодезического назначения. Для определения положения КА аппаратов на орбите должны быть использованы глобальные навигационные спутниковые системы ГЛОНАСС/GPS.

В работе предложен новый метод измерения относительных смещений пробных масс в составе бортового градиентометра, основанный на лазерном дальнометре (Глава 3). Разработан принцип измерения, обоснована структура бортового трехосного лазерного градиентометра, сделаны оценки его параметров и сформулированы требования для измерения второго градиента с погрешностью не более 10^{-4} . Особая заслуга автора состоит в том, что им выполнен лабораторный эксперимент по испытанию макета одноосного лазерного градиентометра на полусвободных массах. Имитация воздействия на градиентометр гравитационного поля была выполнена калибровочной массой. Результаты эксперимента показали, что погрешность лазерных измерений составляет около 4 нм, что соответствует погрешности современных лазерных дальнометров.

При разработке отечественных космических градиентометров необходимо предусмотреть методы и средства для их калибровки. В диссертационной работе (Глава 4) предложен новый метод калибровки на основе бортовой калибровочной массы. Для реализации метода сформирован облик бортового стенда и определены его основные параметры для достижения неопределенности калибровки 10^{-5} Этвеш. Для апробации метода калибровки разработан наземный стенд полунатурного моделирования с использованием емкостной системы измерения перемещений. Результаты испытаний стенда продемонстрировали правильность принятых технических решений и алгоритма обработки данных.

В заключительной части диссертационной работы представлены основные полученные научные результаты и сделан вывод о достижении цели, поставленной в

работе.

Основные результаты, полученные в диссертации, изложены в Положениях, выносимых на защиту.

Основные достижения автора, с моей точки зрения, состоят в разработке метода измерения параметров гравитационного поля с использованием мультиспутникового кластера космических аппаратов, а также постановке лабораторных экспериментов, подтверждающих достоверность проведенных исследований.

Далее мои замечания по диссертационной работе.

Замечания по содержанию

1. Стр. 25. «Для этого с использованием модели гравитационного поля EGM2008 выполнен расчет на участке 1° на 1° с шагом $0,01^\circ$ ».

- Не ясно, о каком конкретном участке поверхности Земли идет речь.

2. Стр. 27 (о модели ГПЗ, представленной разложением по сферическим гармоникам): «Таким образом параметрами любой модели ГПЗ являются: степень n и порядок m , а также погрешность определения коэффициентов C и S ».

- В первую очередь основными параметрами являются значения самих коэффициентов C и S .

3. Стр. 29. (О справедливости формулы 11): «Стандартная формула оценки детальности (или пространственного разрешения) НГК в зависимости от степени модели имеет вид [22]: (Показана формула (11))»

- Ссылка [22] мне недоступна, поэтому происхождение формулы (11) установить не удалось. Поскольку речь идет о гармонических коэффициентах разложения ГПЗ, то основной характеристикой каждой гармоники является ее длина волны, соответственно пространственное разрешение, которое представляет каждая гармоника, характеризуется длиной волны (обычно используется длина полуволны $\lambda/2$). Первая гармоника разложения $n=1$, характеризует Землю, представленную сферой, соответственно длина полуволны такой гармоники равна длине полуокружности шара, т.е. $\lambda/2(n=1) = \pi \times R_3 = 20\,015$ км. Расчёт, проведенный по формуле (11), дает иной результат: $\lambda/2(n=1) = 13\,320$ км. Из приведенных рассуждений следует очень простая формула для вычисления длины полуволны для гармоники n -й степени: $\lambda/2(n) = \pi \times R_3/n$, которой все пользуются.

4. Стр. 29. «На сегодняшний день самые детальные модели имеют пространственное разрешение на уровне 9-10 км, к ним относится модель EGM2008 [25].»

- Есть более полные современные глобальные модели Земли. Например, такой моделью является комбинированная глобальной модель XGM2019e, реализованная в

разложениях 760, 2190 и 5540 сферических гармоник. Представление до степеней и порядков 5540 соответствует пространственному разрешению ~ 3.6 км [http://icgem.gfz-potsdam.de/tom_longtime].

5. Рисунки 24 (стр. 86) и 25 (стр. 89), на которых представлен многоспутниковый кластер, состоящий из трех пар спутников, мало информативны, поскольку непонятно, как движутся КА по орбитам, как расположены орбиты относительно друг друга. Было бы гораздо понятней, если бы на рисунках были полностью изображены орбиты КА.

6. Стр.103. Из формулы (103) следует, что величина степени и порядка определяемых гармоник ГПЗ и время накопления данных связаны обратно пропорциональной зависимостью. Рисунок 30 иллюстрирует эту зависимость. Между тем в сопровождающем тексте утверждается, что «Уменьшение времени накопления данных ведет к уменьшению степени и порядка определяемых гармоник». Т.е. связь между ними прямо пропорциональная.

7. Стр. 105. Выводы по главе 2: «Предложенный многоспутниковый градиентометр обеспечит уточнение модели ГПЗ до степени и порядка 60»

- Не ясно, в чем же преимущество? Модели ГПЗ, созданные только по данным реализованных космических миссий, имеют разложения до 300 гармонических коэффициентов [http://icgem.gfz-potsdam.de/tom_longtime].

Замечания по формулировкам

В тексте имеется ряд формулировок и утверждений, которые на мой взгляд, являются не совсем корректными.

1. Стр. 10 (Введение) «Целью диссертационной работы является повышение точности и детальности измерений градиентов гравитационного потенциала».

-Корректная формулировка цели: РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ повышения точности и детальности измерений градиентов гравитационного потенциала.

2. Стр. 41. «При анализе градиентометра СНАМР были выявлены следующие основные недостатки:

1. Проект направлен только на уточнение модели ГПЗ. Первый, второй и третий градиенты гравитационного потенциала не определяются.

2. Детальность измерений около 80 км.

3. Использовалась односистемная бортовая НАП».

- Почему же это недостатки? Весь мир считает, что это как раз достоинства миссии. Миссия СНАМР была первым успешным проектом по изучению глобального гравитационного поля Земли, в котором было достигнуто рекордное разрешение статических моделей ГПЗ.

4. Стр. 49. Выводы по отношению к системе «низкий спутник – низкий спутник»: «Система имеет низкую надежность, так как при возникновении нештатной ситуации с одним из КА вся система становится дееспособной».

- Это банальный вывод, не стоящий особого изучения. Что касается реализованных миссий этого плана GRACE и GRACE FO, то GRACE показал высокую надежность, просуществовав на орбите вместо 5 лет, 15 лет. GRACE FO также превысил 5-летний срок нахождения на орбите.

5. Стр.118. «Так как гравитационное поле практически не подвержено изменениям, то при построении карт возможно использование результатов измерений в течение нескольких месяцев».

-Это неверное утверждение. В силу движений масс в различных оболочках Земли (атмосфере, океанах и т.д.) гравитационное поле меняется постоянно. Одной из основных задач миссий GRACE и GRACE FO как раз является создание ежемесячных моделей ГПЗ, т.е. моделей, с временным разрешением 1 месяц. Важной задачей будущих геодезических миссий является увеличение как пространственного разрешения, так и временного, т.е. создание моделей ГПЗ на временных интервалах 10 дней, неделя и менее.

6. Стр. 158. (Заключение): «Установлено, что ранее реализованные методы и средства космической градиентометрии не удовлетворяют требованиям к составу, точности и детальности определения первого, второго и третьего градиентов гравитационного потенциала».

- Ранее реализованные миссии и не должны удовлетворять требованиям, сформулированным в диссертации. Все реализованные геодезические миссии успешно справились с поставленными задачами и внесли выдающийся вклад в развитие науки.

Замечания по оформлению

Диссертационная работа не свободна от помарок и небрежностей по оформлению. Не перечисляя всех, особо отмечу список использованных источников, в котором из 162 цитируемых источников 25 приведены без указания года издания (15, 64, 65, 66, 68, 71, 72, 74, 75, 84, 85, 86, 88, 90, 91, 99, 100, 103, 114, 155, 156, 157, 158, 159, 160).

Отмеченные мной замечания не снижают общей ценности рецензируемой работы. В целом диссертационная работа Р.А. Давлатова является завершённым научным исследованием и представляет собой определенный вклад в развитие будущих отечественных программ космической гравиметрии.

Основные результаты получены автором самостоятельно и опубликованы в научной печати. Автореферат полностью соответствует основному содержанию диссертации. Диссертация соответствует критериям, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобрнауки России, предъявляемым к

кандидатским диссертациям, а ее автор – Руслан Аскарджонович Давлатов достоин присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8 – «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

Официальный оппонент:

Милюков Вадим Константинович,
доктор физико-математических наук,
Заведующий лабораторией лазерных интерферометрических измерений Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
119234, г. Москва, Университетский проспект, д. 13.

Тел: +79 16 634 24 34

E-mail: vmilyukov@yandex.ru

- Я, Милюков Вадим Константинович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета 32.1.004.01 при ФГУП «ВНИИФТРИ», и их дальнейшую обработку.

30.11.2023 г.

 /Милюков В.К.

Подпись Милюкова Вадима Константиновича заверяю:

Зав. отделом канцелярии

ГАИШ МГУ



Л.Н. Новикова