ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Сугаиповой Лейлы Супьяновны на тему: «Разработка и исследование методов разномасштабного моделирования геопотенциала» по специальности 25.00.32 – геодезия на соискание ученой степени доктора технических наук

Одной из основных задач геодезии является определение внешнего гравитационного поля Земли (ГПЗ). Вместе с определением фигуры Земли изучение ее гравитационного поля позволяет сформировать единое координатное пространство для решения многих задач: экономических, научных, оборонных. С повышением уровня развития экономики страны, совершенствованием технических средств, требования к точности определения ГПЗ постоянно увеличиваются.

Известно, что основной объем данных о ГПЗ получают космическими средствами. В настоящее время в России реализованы следующие основные методы определения ГПЗ с использованием космических систем геодезии и навигации: спутниковый динамический метод; метод спутниковой альтиметрии; метод спутникового позиционирования.

Эти методы позволяют обеспечить выполнение значительной части современных требований, прежде всего, в части координатного обеспечения, однако возможности перечисленных методов ограничены по определению параметров гравитационного поля Земли. Как следствие, возникает необходимость реализации в космических геодезических системах новых методов космической геодезии.

В число этих методов входят:

метод траекторного слежения по линии «спутник-спутник» (метод межспутниковых измерений);

метод спутниковой гравитационной градиентометрии.

В настоящее время идет формирование новой ФЦП ГЛОНАСС 21-30, в ходе которой планируются мероприятия по созданию перспективной космической геодезической системы, позволяющей уточнить планетарную часть ГПЗ и

региональных гравитационных аномалий в общеземном масштабе с использованием новых методов космической геодезии.

На сегодня спутниковый градиентометрический метод позиционируется как один из наиболее перспективных методов определения параметров ГПЗ в среднечастотной полосе. В то же время он не может обеспечить определение детальных характеристик ГПЗ. В настоящее время невозможно получить характеристики ГПЗ с детальностью лучше 50 – 100 км без использования гравиметрической (аэрогравиметрической) и спутниковой альтиметрической информации. Для решения многих практических задач в области экономики и обороны требуется знание детального ГПЗ, которое реализуется путем создания цифровых моделей характеристик аномального ГПЗ или специализированных локальных моделей ГПЗ. На различных этапах создания таких моделей ГПЗ необходимо наличие эталонной глобальной модели ГПЗ, позволяющей вычислять любые характеристики ГПЗ на поверхности Земли и во внешнем пространстве, рассчитывать эталонные траектории летательных аппаратов. Учитывая современную обеспеченность исходными данными о ГПЗ, детальность такой модели должна составлять порядка 5 км. В настоящее время к такой модели можно отнести EGM2008 до 2160-й степени разложения в ряд по сферическим функциям (детальность ~10 км). При создании этой модели были решены как проблемы, связанные с обработкой огромного объема данных, так и проблемы методические, связанные с неустойчивым определением огромного числа параметров.

Учитывая сказанное, тема диссертационной работы Сугаиповой Л.С. «Разработка и исследование методов разномасштабного моделирования геопотенциала», посвященная разработке теоретических и практических основ создания глобальных моделей ГПЗ высокого разрешения с использованием данных спутниковой градиентометрии является, несомненно, актуальной.

В диссертации автором разрабатывается теория и методика создания комбинированной модели ГПЗ, использующая как классические сферические функции для описания длинно и средневолновых составляющих спектра, так и базисные функции, обладающие свойством пространственной и частотной локализации, описывающие высокочастотную часть спектра.

В ходе исследований делается вывод, что в представлении потенциала в виде ряда по шаровым функциям дальнейшее наращивание степени разложения

нецелесообразно. Для моделирования высокочастотной части предложено использовать базисные функции, имеющие пространственную локализацию - сферические радиальные базисные функции (СРБФ). Для повышения эффективности представления высокочастотной составляющей геопотенциала предлагается поверхность Земли разбить на районы, для которых ГПЗ обладает свойствами стационарности.

В работе проведен исчерпывающий анализ и усовершенствована теория разномасштабного анализа и синтеза на сфере с использованием масштабирующих функции, вейвлетов и СРБФ, применительно к ГПЗ. Полученные результаты послужили теоретической базой для разработки методики локального моделирования ГПЗ.

Разработана методика локального моделирования ГПЗ с использованием СРБФ, включающая новые обоснованные разработки автора:

- новое представление аномалии силы тяжести (АСТ) на масштабирующих функциях и вейвлетах Абеля-Пуассона;

- введены новые масштабирующие функции и соответствующие вейвлеты Стокса, при использовании которых влияние радиуса ближней зоны регулируется с помощью «частотной характеристики оператора усечения ядра Стокса»;

- предложен оригинальный подход замены стандартного нормального поля потенциалом в виде низкочастотной части спутниковой модели ГПЗ;

- исследованы проблемы аппроксимации остаточного возмущающего потенциала линейной комбинацией СРБФ в локальном районе, включая вопросы численной устойчивости решения;

- выполнены исследования по оптимальному разбиению поверхности Земли на блоки. Для согласования результатов локального моделирования на границах областей предложены новые модификации СРБФ, в которых используется замена евклидова расстояния между точками метрикой Махаланобиса.

В работе справедливо отмечено, что наиболее детальной глобальной информацией для определения гармонических коэффициентов геопотенциала являются данные спутниковой градиентометрии. В ходе диссертационных исследований была разработана методика и практически реализован соответствующий алгоритм моделирования ГПЗ по результатам спутниковой градиентометрии в виде разложения в ряд по сферическим функциям до 250-ой степени. По-

лученная модель по своим точностным характеристикам соответствует лучшим зарубежным моделям аналогичного класса.

Для корректной обработки вторых производных предложен фильтр, основанный на модели цветного шума градиентометра, установленного на спутнике GOCE.

В численных экспериментах были использованы вторые производные потенциала на орбите спутника GOCE, прошедшие калибровку и первичную обработку. Сама методика включает все основные этапы целевой обработки, которые разработаны впервые в отечественной практике.

Достоверность полученных результатов в диссертационных исследованиях подтверждена теоретическими выводами и численными экспериментами на модельной и реальной информации. В ходе первого этапа ОКР «ГГСК-Точность» впервые в РФ получена модель ГПЗ с использованием градиентометрических измерений проекта GOCE, прошедшая государственные испытания.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Основные результаты диссертации опубликованы в открытой научной печати.

По диссертации имеются замечания.

В настоящий момент утверждать, что представление потенциала в виде ряда по шаровым функциям достигло предела своих возможностей не совсем корректно. Первая в своем классе высокостепенная модель EGM2008, при создании которой был использован оригинальный каталог средних АСТ по трапециям 5'x5' представлена в виде ряда по шаровым функциям до 2160-й степени и в настоящее время широко применяется на практике для решения самого широкого спектра задач. При разработке данной модели использовался алгоритм суммирования, устойчивый примерно до 3500-й степени, и ведутся исследования по значительному расширению данного показателя. Учитывая, что в настоящее время Международным гравиметрическим бюро выполняется проект по созданию глобального каталога АСТ по трапециям 1'x1' возникает закономерный вопрос: какой будет форма представления следующей модели ГПЗ?

Не совсем удачная формулировка второй научной задачи – изложить теоретические основы разномасштабного анализа и синтеза сигнала на сфере. С

учетом результатов, полученных автором, более правильная формулировка – выполнить усовершенствование теоретических основ разномасштабного анализа и синтеза сигнала на сфере.

В утверждении автора, что впервые разработана методика регионального моделирования ГПЗ на части территории РФ с помощью пространственно локализованных базисных функций правильнее записать – пространственно и частотно локализованных базисных функций.

Используя СРБФ для моделирования поля рельефа, не являющегося гармонической функцией, автор накладывает достаточно жесткие ограничения.

Реальная разрешающая способность модели ГПЗ в виде ряда по шаровым функциям не определяется регионами Земли, в которых отсутствуют данные или они обладают низкой точностью. Высокостепенные модели ГПЗ в виде ряда по шаровым функциям являются, по сути, согласующими, в зависимости от качества исходных данных в том или ином регионе. «Белые пятна» или некачественные данные, конечно, искажают результаты в обеспеченных районах, но их влияние можно сравнить с влиянием дальних зон, и при достаточном удалении они практически не влияют на вычисляемые характеристики ГПЗ. В большей степени такое влияние оказывается на высоты квазигеоида, меньшее - на АСТ и составляющие уклонения отвесной линии.

Регуляризация по Тихонову при решении некорректной задачи является универсальным приемом и применяется при отсутствии дополнительных априорных данных. Учитывая, что ГПЗ достаточно изучено, для улучшения решения необходимо использовать эти знания, например, в виде ковариационной функции или степенных дисперсий возмущающего потенциала.

В заключение необходимо отметить, что несмотря на наличие отдельных замечаний, диссертационная работа является завершенной, выполнена на высоком научно-техническом уровне, полученные результаты обладают новизной, теоретической значимостью и практической ценностью. Результаты работы целесообразно использовать в ходе разработки перспективной отечественной космической геодезической системы и модернизированного центра решения задач космической геодезии, планируемых в рамках мероприятий ФЦП ГЛОНАСС 21-30. Отметим также, что в новой ФЦП ставится задача навигации

по ГПЗ, для решения которой может эффективно использоваться глобальная детальная модель ГПЗ с дополнительной детализацией в отдельных районах.

Таким образом, диссертация Сугаиповой Лейлы Супьяновны является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные методические и технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики и обороны страны, работа соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.32 – геодезия.

Официальный оппонент Плешаков Дмитрий Иванович
начальник управления
научно-исследовательского центра (топогеодезического и навигационного обеспечения) ФГБУ «27 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации,
доктор технических наук,
старший научный сотрудник _____ Плешаков Дмитий Иванович
«05» сентября 2018 г.

107014, г.Москва, ул.Рубцовско-Дворцовая, д.6.
mrplesh@mail.ru, (499) 269-53-43.
20.02.09 – Гидрометеорологическое и геодезическое обеспечение боевых действий войск.

Подпись Плешакова Дмитрия Ивановича удостоверяю
Начальник научно-исследовательского центра (топогеодезического и навигационного обеспечения) ФГБУ «27 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации,
кандидат технических наук _____ И.Рутько

«05» сентября 2018 г.

М.П.