

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
Национального исследовательского  
Томского государственного университета,  
доктор физико-математических наук

  
И.В. Ивонин  
« 01 » июня 2018 г.



#### ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» – на диссертационную работу Холмогорова Андрея Александровича «Исследование возможностей повышения точности позиционирования и информативности спутниковой радионавигационной аппаратуры» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Работа Андрея Александровича Холмогорова посвящена совершенствованию методик цифровой обработки и постобработки данных, применяемых в задачах местоопределения посредством одночастотных приемников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

#### Содержание работы

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения.

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулирована цель и решаемые задачи, приведены выносимые на защиту положения, отмечена научная новизна и научно-практическая ценность работы.

**Первая глава** посвящена общим вопросам работы систем спутниковой радионавигации и позиционирования. Приводятся общие сведения о влиянии ионосферной плазмы на точность работы таких систем. Рассматриваются некоторые исторически устоявшиеся способы учета и исключения влияния вносимых плазмой погрешностей. Акцент сделан на модели, применяемые в спутниковой навигационной системе GPS (автор модели J.A. Klobuchar) и разработка Европейского центра CODE (NTCM\_GL – Global Neustrelitz TEC Model). Подробно представлена альтернатива этим подходам – совместная разработка Иркутского госуниверситета и Иркутского филиала Московского технического университета гражданской авиации, названная авторами GEMTEC (Global Empirical Model of the Total Electron Content). Сравнительный анализ результатов работы этих трех моделей полного электронного содержания на данных численного и натурального экспериментов позволил соискателю сформулировать первое и второе защищаемые положения.

**Во второй главе** описана нестандартная методика, тестируемая на предмет повышения точности позиционирования для глобальных спутниковых навигационных систем. Данный подход (названный «дифференциально-временным режимом») основывается на повторяемости в соседних сутках временного хода ошибки позиционирования на наборе пространственно-разнесенных (до сотен километров) приемников. Проведен анализ работы предложенной методики, полученные результаты сравниваются с общепризнанными (стандартными) режимами местоопределения. Третье защищаемое положение основано на полученных результатах.

**Третья глава** является полностью оригинальной и посвящена апробации предложенной ранее методики для обработки данных натурального эксперимента. А именно, проводится разведочный – на предмет применимости – анализ возмущений ПЭС, сопровождавших прохождение ряда уникальных событий. А именно: 1) солнечное затмение 20 марта 2015; 2) землетрясения в Чили 27 февраля 2010 и в Японии 11 марта 2011; 3) падение Чебаркульского (Челябинского) метеорита 15 февраля 2016. Сделаны оценки скорости перемещения ионосферных неоднородностей, лежащие в пределах: а) для землетрясений ~ 600–885 м/с; б) для метеорного тела ~ 520–760 м/с. Полученные результаты легли в основу четвертого защищаемого положения.

#### **Актуальность темы**

Ионосфера Земли на протяжении многих десятилетий является объектом разностороннего и детального исследования с позиций различных естественнонаучных дисциплин. Диагностика параметров ионосферного газа проводится множеством разнообразных методов и направлена на решение подчас противоположных по постановке задач. В ряде случаев свойства плазмы могут препятствовать качественной работе технических систем (например, систем позиционирования и навигации), и в то же самое время предоставлять ценную информацию о важных геофизических явлениях (реакция ионосферы на солнечную вспышку, магнитосферную бурю, активное воздействие и т.п.). Реакция ионосферы на подобные внешние воздействия заключается в возникновении возмущений, которые могут иметь широкий спектр масштабов: пространственные – от долей метра до сотен километров, временные – от микросекунд до десятков часов. Однако, не существует единственного полностью универсального метода диагностики.

Для решения большого круга фундаментальных и прикладных задач наиболее испытанными, эффективными и совершенными методами являются – радиоволновые. Именно радиоволны послужили первым источником информации об ионосфере Земли. В России (СССР) самый первый метод – метод вертикального зондирования ионосферы – был реализован еще в 1936 году в Томске коллективом под руководством Владимира Николаевича Кессениха. Место и время начала ионосферных исследований было обусловлено солнечным затмением 19.06.1936 г. Проведенные в то время исследования ответили на принципиальные вопросы о главном ионизирующем агенте (ультрафиолетовом излучении) Солнца. В последствие (и вплоть до настоящего времени) исследования реакции ионосферы на солнечные затмения давали ценнейшую информацию о характере и свойствах динамических процессов, протекающих в верхней атмосфере Земли.

В настоящее время радиоволновая диагностика ионосферы как направление продолжает интенсивно развиваться. Применение космических аппаратов в задачах радиопросвечивания ионосферы существенно расширяет диагностические возможности проводимых экспериментов. Это же стимулировало постановку рассматриваемой работы.

#### **Научная новизна полученных результатов**

Работа в предлагаемой постановке носит ярко выраженный прикладной характер, и преимущественно основана на ранее полученных решениях. К числу новых результатов следует отнести количественные оценки ошибок позиционирования ГНСС-GPS для реализованного режима «дифференциально-временной» коррекции (учитывающего ранее зафиксированные данные) по различным парам станций международной сети IGS, расположенных в разных регионах Земли.

### **Практическая значимость работы**

Показана возможность наращивания адекватности модели полного электронного содержания GEMTEC посредством дальнейшей модернизации, основанной на включении большего числа экспериментальных дцней для каждого месяца. Показана гибкость информационных решений модели GEMTEC допускающая ее оптимизацию под конкретное реально существующее приемное устройство за счет сокращения ряда функций и уменьшение как следствие блока используемых данных.

Обнаружена причина повторяемости ошибок позиционирования, вызванная погрешностями штатных расчетов положений навигационных спутников. Показано, что возможности одночастотной радионавигационной аппаратуры могут наращиваться за счет применения новых физико-математических решений, что, по-видимому, позволит в случае массового внедрения получать экономический эффект за счет соотношения цена-качество.

### **Оценка содержания диссертации**

Диссертационная работа А.А. Холмогорова представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение задачи в области взаимодействия ионосферной плазмы с радиоволнами, используемыми спутниковыми навигационными системами в задачах местоопределения. Основные результаты отражены в 24 печатных работах. Из них 7 статей в российских журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата/доктора наук. Из них в 1 статья, в издании индексируемом Web of Science и Scopus. 2 статьи в изданиях, переводные версии которых индексируются Web of Science и Scopus. И 1 статья в издании, переводная версия которого, индексируется Scopus. 17 публикаций в сборниках международных, всероссийских, региональных конференций и молодежных научных школ, а так же изданиях не входящих в перечень ВАК. Основные результаты диссертации достаточно полно отражены в публикациях.

Основные результаты не вызывают сомнений. Автореферат диссертации правильно и полно отражает ее содержание.

### **Имеются замечания по работе**

1) Спутниковые навигационные системы в настоящий момент активно развиваются, развертываются новые глобальные (GALILEO – Евросоюз; BeiDou – Китай) и региональные (IRNSS – Индия; QZSS – Япония) системы местоопределения. Ожидается, что к 2020 году эти системы выйдут в режим полной функциональности. Диссертант об этих спутниковых системах вообще не упоминает – даже вскользь, хотя как следует из названия работы такие системы и должны быть предметом пристального внимания. Поэтому не ясно насколько сопоставим развиваемый в работе подход с современными решениями.

2) Модель, применяемая в одночастотном варианте GPS (автор J.A. Klobuchar), была предложена более 30 лет назад (1987 год). За это время вычислительные мощности компьютерной техники выросли более чем в десятки миллионов раз, так же повысилась адекватность ионосферных моделей (например, работы И.А. Голикова, А.В. Тащилина и др.), поэтому повышение точности местоопределения менее чем в 2 раза за счет предлагаемой модели GEMTEC является весьма скромным результатом.

3) Более того намеренный отказ от вычислительных возможностей исходной модели GEMTEC в пользу максимальной компактности блока данных (очевидно

обусловленный недостатками не соответствующего современным требованиям приемника) является, по меньшей мере, спорным решением.

4) В последнее десятилетие данные ГНСС-GPS активно используются для тропосферных исследований. Эти исследования предполагают исключение влияния ионосферной плазмы. В ионосферных исследованиях наоборот требуется учесть и исключить влияние тропосферы Земли. Обе задачи взаимосвязаны – и их фактически нельзя решать по отдельности. Более того по величине вносимых ошибок эти два слагаемые сопоставимы. Поэтому вызывает справедливое недоумение факт того, что автор не привел ни одной работы, вышедшей за последние 20 лет, по вопросу учета влияния тропосферы.

5) Во всей работе автор злоупотребляет подходом, основанном исключительно на визуальном сравнении полученных зависимостей (рисунки 4–22, 24, 26–34, 37, 39). Автор пренебрегает количественным описанием представляемых закономерностей, вместо этого отделяется общими фразами типа: «Из рисунка **ВИДНО, ЛУЧШЕЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ** суточного хода ПЭС...»; «Из графиков на рисунках 5, 6, 7 **ВИДНО, что предлагаемая модель ГОРАЗДО ЛУЧШЕ ВОСПРОИЗВОДИТ** реальные данные ПЭС...»; «**МОЖНО ВИДЕТЬ, что одночастотные измерения воспроизводят все основные особенности временного хода, выявляемые в двухчастотном режиме**» и т.п.

Таким образом, автор переключает свою работу по количественному анализу результатов на других людей. Такой подход, в силу возникающего произвола в трактовках, не может служить для получения объективной оценки. А это работает не в пользу соискателя.

Особенно провальной становится ситуация, когда цифры на осях приводятся предельно неразборчиво (рисунки 11–14, 22, 24).

6) Явно неудачна формулировка третьего защищаемого положения (в виде, дословно приведенном как в диссертации): «Разработанный, физически обоснованный и протестированный **МЕТОД** дифференциально-временной коррекции для спутниковых радионавигационных систем **ОБЕСПЕЧИВАЕТ ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ** позиционирования», – она допускает неоднозначности в трактовке. Например, такая. Всегда обеспечивает или все-таки не всегда? Хотя очевидно, что метод полноценно начинает работать только со вторых суток после запуска. По сравнению с какими альтернативными решениями обеспечивает повышение точности (неужели со всеми возможными)? А с чем тогда не обеспечивает? И если все же не обеспечивает (хотя бы с чем-то и/или не всегда), то такое положение становится заведомо не защищаемым.

7) Аналогично со вторым положением: «Решение навигационной задачи с использованием модели GEMTES, внедренной в опытных образцах серийных отечественных навигационных приемников МНП-М7 и МНП-М9 производства Ижевского радиозавода, **ДЕМОНСТРИРУЕТ** практическую применимость модели и **ЗАМЕТНОЕ ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ** позиционирования». Возникает закономерный вопрос: что нужно считать **ЗАМЕТНЫМ** повышением? Изменение на единицу младшего разряда или на 5 (50, 105)% и более?

8) Диссертантом допущены досадные ошибки при округлении представляемых результатов. Например, при переносе из Таблицы 8 в Таблицу 9 модуль числа -0.58 становится равным 0.59, а квадратный корень из суммы квадратов чисел 0.81 и 0.62 вместо 1.02 оказывается равным 1.04. Сходные несоответствия замечены в Таблицах 11 и 13.

9) Самая выигрышная в исследовательском плане оригинальная третья глава очень сильно теряет из-за бедности применяемого для анализа математического

аппарата. Высшим пределом сделанных в этой главе математических выкладок является вычисление скорости возникающих возмущений (расчет отношения расстояния ко времени).

10) Заметно портит впечатление от работы целый набор недостатков технического характера: оформление формул, графиков, таблиц, списка литературы, чрезмерно большое количество пунктуационных и орфографических ошибок (особенно зацепило: «шорты» вместо широты на странице 65, «ПЕС» вместо ПЭС – 31 страница).

Перечисленные недостатки не снижают значение результатов работы в целом.

#### **Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Результаты, полученные в работе, могут быть рекомендованы для использования в ИСЗФ СО РАН, ИКФИА СО РАН, ИЗМИРАН, МФТИ, ИрГУ, ТГУ, КФУ, ННГУ, СФУ и других учреждениях и организациях, занимающихся исследованиями в области физики ионосферы и распространения радиоволн.

Одночастотная радионавигационная аппаратура, оснащенная наработками автора, так же может найти широкое применение в массовом сегменте устройств позиционирования. Возможно ее использование для решения круга прикладных задач, не связанных со сверхвысокой точностью местоопределения.

#### **Заключение**

Диссертационная работа А.А. Холмогорова представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение задачи в области взаимодействия ионосферной плазмы с радиоволнами, применительно к повышению качества работы спутниковых навигационных систем в прикладных вопросах местоопределения.

В целом работа А.А. Холмогорова соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней для кандидатских диссертаций, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании кафедры космической физики и экологии радиофизического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» 01 июня 2018 г., протокол № 21.

Отзыв составил:

Заведующий кафедрой космической физики и экологии радиофизического факультета Томского государственного университета,  
Кандидат физико-математических наук (01.04.03 – Радиофизика),  
старший научный сотрудник Колесник Сергей Анатольевич

*Подпись завершено  
смыч. по УИР РФРР ТГУ*



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

Почтовый адрес: 634050, г. Томск, пр-т Ленина, 36; Телефон: (3822) 529 582;  
адрес электронной почты: rector@tsu.ru; адрес сайта: www.tsu.ru