

На правах рукописи

Монахова Мария Александровна

**МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ (ПРОЕКТ
«МОСКВА») ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
КАДАСТРА ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ**

Специальность 25.00.32 – Геодезия

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

МОСКВА 2007

Работа выполнена на кафедре Астрономии и космической геодезии Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК).

Научный руководитель: кандидат технических наук, проф.
Краснорылов Игорь Ильич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, проф.
Демьянов Глеб Викторович

кандидат технических наук
Чугунов Игорь Петрович

Ведущая организация: ГУП Мосгоргеотрест

Защита диссертации состоится «29» ноября 2007 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д.212.143.03 в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) по адресу: 105064, г. Москва, К-64, Гороховский пер., 4 (ауд. 46).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета геодезии и картографии.

Автореферат разослан «_____» _____ 2007 г.

Ученый секретарь



Ю.М. Климков

диссертационного совета

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Спутниковые технологии, решающие задачи по определению координат объектов, прошли определенный путь в своем развитии. Наиболее распространенной до последнего времени была технология автономной базовой станции (АБС), позволяющая обеспечить геодезические определения на территориях площадью в десятки кв. км. В настоящее время наиболее прогрессивной технологией геодезического обеспечения на больших по площади территориях является технология постоянно действующих референцных станций (РС), объединенных в сеть. В России впервые внедрены две подобных технологии, реализованные в Спутниковых системах межевания земель (проекты «Москва» и «Санкт-Петербург»). Автор диссертации принимал непосредственное участие во внедрении этих Спутниковых систем, исследовании их возможностей, создании геодезической инфраструктуры. Основные направления исследований и результаты диссертации связаны с проектом «Москва».

Поскольку подобная Спутниковая система внедрялась в России впервые, то работа по своей сути носила научно-исследовательский характер. При внедрении впервые пришлось решать ряд сложных научно-технических и организационных задач, в том числе выбор мест установки РС и вычислительного центра, организация связи, установка, наладка и запуск оборудования, его испытания, создание геодезической инфраструктуры. Под геодезической инфраструктурой здесь понимаются три взаимосвязанные проблемы. Первой из них является геодезическая привязка РС к общеземным координатным системам (ITRF2000), второй – разработка методик спутниковых измерений и их математической обработки в задачах координатного обеспечения кадастра объектов недвижимости, третьей – определение параметров перехода от общеземных систем координат к государственной и местным системам координат.

Объектами исследований автора явились вторая и третья проблемы.

Спутниковые технологии на основе автономных базовых станций (АБС), обычно используемые для определения координат объектов, изложены в ряде нормативных технических документов, в том числе в «Инструкции по развитию

съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS» (ЦНИИГАиК), «Руководстве по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS» (ЦНИИГАиК), а также в многочисленной технической документации, поставляемой со спутниковым оборудованием и программным обеспечением. Технология Спутниковых систем на основе сети РС значительно отличается от технологии АБС. Она позволяет отказаться от некоторых этапов работ или уменьшить время их выполнения. Это требует переработки или уточнения положений технологии АБС, адаптации новой технологии сети РС в кадастровом производстве и с учетом современного состояния геодезической инфраструктуры в Московском регионе.

В кадастровых работах результаты координатных определений должны представляться в государственной и местных системах координат, что требует применения параметров перехода от систем координат, используемых в спутниковых технологиях. В Спутниковой системе (проект «Москва») используются измерения Глобальной навигационной спутниковой системы GPS, отнесенные к общеземной системе координат WGS-84. Опубликованные параметры перехода, в том числе и от системы WGS-84, вычислены, как правило, для всей территории страны или её отдельных регионов и не учитывают локальных деформаций геодезических сетей. При использовании таких параметров локальные деформации проявятся как разности координат объекта, полученных по спутниковым измерениям с переходом в местную систему координат и координатами объекта, полученными непосредственной привязкой к ближайшим пунктам Государственной геодезической сети (ГГС). Но если параметры, связывающие координатные системы, определены в локальной области, координаты точки окажутся согласованными с координатами окружающих пунктов, расположенных в этой же локальной области. Укажем и другую причину определения и применения согласующих локальных параметров перехода. Системы координат, используемые в спутниковых технологиях, являются частными реализациями системы WGS-84, в Спутниковой системе (проект «Москва»), например, это система ITRF2000, фиксированная на эпоху 1997.0.

Согласующие локальные параметры перехода учитывают отличие такой частной реализации от оригинальной системы WGS-84.

Созданная геодезическая инфраструктура обеспечит решение координатных задач кадастра объектов недвижимости, в том числе при определении координат пунктов опорных межевых сетей (ОМС), поворотных точек границ земельных участков, точек планово-высотной подготовки аэрофотоснимков, а также при координатном обеспечении аэрофотосъемки (АФС). Применение Спутниковой системы при решении этих задач требует разработки соответствующих методов, включающих в себя математическую модель определения координат объектов, методики измерений, контроля и т.д.

С учетом вышеизложенного автор полагает, что тема диссертации является **актуальной** и имеет важное научное и практическое значение.

Цель и задачи диссертации. Целью диссертации явилась разработка методов практического применения Спутниковой системы (проект «Москва») для координатного обеспечения кадастра объектов недвижимости. В соответствии с целью в диссертации решались следующие основные задачи:

1. Анализ технологий координатного обеспечения кадастра объектов недвижимости, в том числе спутниковой технологии на основе сети РС, реализованной в Спутниковой системе.
2. Разработка методик измерений и математической обработки спутниковой информации с использованием Спутниковой системы.
3. Определение согласующих локальных параметров перехода от системы ITRF2000 (на эпоху 1997.0) к государственной системе СК-95, местной системе СК-63 на территории г. Москвы и Московской области с использованием Спутниковой системы.
4. Исследование точностных возможностей Спутниковой системы по определению координат объектов.
5. Анализ точностных характеристик ГГС на территории г. Москвы и Московской области в государственной системе координат СК-95, местной системе СК-63.
6. Обоснование возможностей Спутниковой системы по определению координат центров фотографирования (ЦФ) при аэрофотосъемке местности.

Научная новизна и результаты, выносимые на защиту. Предлагаемая диссертация является первой работой, связанной с созданием и функционированием Спутниковой системы, её использованием в геодезическом обеспечении кадастра объектов недвижимости, мониторинга земель и землеустройства. Новыми и выносимыми на защиту являются следующие результаты:

1. Методики спутниковых измерений в режимах постобработки и реального времени в Спутниковой системе, обеспечивающие выполнение требований к созданию кадастра объектов недвижимости.
2. Методика постобработки измерений в Спутниковой системе, обеспечивающая выполнение требований к созданию кадастра объектов недвижимости.
3. Локальные параметры перехода от системы ITRF2000 (на эпоху 1997.0) к системам координат СК-95, СК-63 для территории г. Москвы и Московской области.
4. Точностные характеристики Спутниковой системы по определению координат объектов в режимах постобработки и реального времени.
5. Точностные характеристики ГГС на территории г. Москвы и Московской области в системах координат СК-95 и СК-63, полученные с использованием Спутниковой системы.
6. Точностные характеристики Спутниковой системы по определению координат ЦФ при аэрофотосъемке местности.

Практическая значимость полученных в диссертации результатов заключается во внедрении их в производственную деятельность Спутниковой системы (подтверждено Актом внедрения ФГУП «Госземкадастрсъемка» - ВИСХАГИ) и использовании широким кругом пользователей при координатном обеспечении кадастра объектов недвижимости, строительства, инженерных изысканий, планирования территорий. При работе со Спутниковой системой пользователи руководствуются созданной нормативно-технической базой, в том числе методиками спутниковых измерений. Методика постобработки используется операторами Спутниковой системы при выполнении работ по заявкам пользователей. Среди пользователей, использующих вышеназванные результаты, ФГУП «Госземкадастрсъемка» - ВИСХАГИ, ГУП Мосгоргеотрест,

ФГУП МАГП, Московский городской и областной филиалы ФГУП «Ростехинвентаризация», ГУП Московское областное БТИ, ГУП Московский областной «НИИПИ градостроительства», более 50 частных коммерческих предприятий.

Апробация диссертационных исследований проведена на ежегодных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК (№60-62 2005-2007 гг.), на конференции, посвященной 75-летию ФГУП «Госземкадастръёмка» - ВИСХАГИ (г. Москва, 24-25 мая 2007 г.).

Публикации. Основные результаты исследований опубликованы в 7 научно-технических статьях, из которых 3 написаны автором работы, 4 в соавторстве, а также в 7 рукописных работах, являющихся методической основой Спутниковой системы (проект «Москва») в виде руководств, методик, научно-технических и технических отчетов, разработанных в Центре спутниковых технологий (ЦСТ) ФГУП «Госземкадастръёмка» - ВИСХАГИ с участием автора.

Структура и объем работы. Диссертационная работа содержит 161 страницу машинописного текста, состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы (97 наименований, в том числе 37 на английском языке). В работе представлены 42 таблицы, 20 рисунков.

Автор выражает искреннюю благодарность руководству и коллективу ФГУП «Госземкадастръёмка» - ВИСХАГИ, кафедре Астрономии и космической геодезии МИИГАиК за помощь в подготовке данной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы диссертации, формулировки цели, задач работы, основных научных результатов, полученных автором при разработке диссертации.

1. Анализ технологий координатного обеспечения кадастра объектов недвижимости

Основным содержанием первой главы является анализ современных технологий координатного обеспечения кадастра объектов недвижимости на основе отечественного и зарубежного опыта.

В результате исследований в первой главе обоснованы преимущества технологии на основе сети постоянно действующих РС перед спутниковой техноло-

гией на основе АБС, выполнен анализ эффективности новой технологии по показателям производительности и экономии затрат в процессе координатных определений при геодезическом обеспечении кадастра объектов недвижимости.

При координатном обеспечении кадастра объектов недвижимости применяются дифференциальные методы. При этом возможны две технологии. Первая технология заключается в применении автономных базовых станций (АБС), устанавливаемых на исходных пунктах. На определяемых точках устанавливаются мобильные приемники. Вторая технология основана на применении сети постоянно действующих референцных станций (РС). Характеристики двух технологий для разных методов наблюдений, полученные в результате анализа, сведены в таблице 1. Все характеристики приведены для двухчастотных спутниковых приемников типа SR серии 500 (SR530) фирмы Leica Geosystems (Швейцария) и программы обработки SKI_Pro v.3.0 этой же фирмы. Точностные характеристики технологии сети РС получены также на основе производственного опыта, полученного в ходе эксплуатации Спутниковой системы (определение в 2005-2007 гг. по заказам пользователей ~ 5 тыс. точек в Московской и прилегающей к ней областях).

Таблица 1.

Точностные характеристики спутниковых технологий

Методы наблюдений	Технология АБС	Технология сети РС
Статика (постобработка) Предельная длина базовой линии Время измерений Ср. кв. ошибки определения координат	40 км 60 мин. 1-2 см	150 км 30 мин. 1-2 см
Быстрая статика (постобработка) Предельная длина базовой линии Время измерений Ср. кв. ошибки определения координат	15 км 15 мин. 3-5 см	60 км 15 мин. 2-3 см
Кинематика (постобработка) Предельная длина базовой линии Время измерений (кинематика с остановкой / кинематика «на лету») Ср. кв. ошибки определения координат (кинематика с остановкой / кинематика «на лету»)	15 км 3 мин. / 1 сек. 3-5 см / 5-7 см	40 км 3 мин. / 1 сек. 2-3 см / 3-5 см
Режим реального времени Режим вычисления координат Предельная длина базовой линии Время измерений Ср. кв. ошибки определения координат	реальное время 15 км 1 мин. 2-3 см	реальное время 30-40 км 1 мин. 2-3 см

Методы спутниковых наблюдений для выполнения работ по межеванию земель выбираются в соответствии с нормативными требованиями к точности определения координат объектов. Координаты пунктов ОМС рекомендуется определять методом статики двухчастотной спутниковой аппаратурой, межевые знаки – методами статики и быстрой статики двухчастотной и одночастотной спутниковой аппаратурой, в методах кинематики и реального времени – только двухчастотной аппаратурой.

Технология сети референцных станций имеет более широкие возможности и следующие преимущества по сравнению с традиционными технологиями и спутниковой технологией на основе отдельных автономных базовых станций:

1. Сеть РС в состоянии заменить собой опорные межевые сети на территории субъекта РФ. Она в состоянии понизить требования к плотности любой исходной геодезической основы. Такая сеть является однородной по точности, внутренне согласованной, привязка её к другим системам координат не представляет принципиальных трудностей.

2. Новая технология обеспечивает исчерпывающий контроль результатов, поскольку определение координат объектов осуществляется по большому числу базовых линий (от многих РС).

3. Для пользователей новая технология обладает более высокой производительностью и более низкой себестоимостью. Пользователь может исключить из состава своих работ подготовку и использование исходной основы в виде пунктов ГГС или ОМС, организацию АБС на исходном пункте, отказаться от организации у себя вычислительного процесса, экономя ресурсы на компьютерной технике, программном обеспечении, содержании обслуживающего персонала.

4. Эффективным для пользователей в новой технологии является режим реального времени, с применением которого только одним комплектом спутникового полевого оборудования в течение ~ 1 минуты и менее можно получить координаты в требуемой системе координат.

Анализ эффективности технологии Спутниковой системы (проект «Москва») по показателям производительности и экономии затрат непосредственно координатных определений выполнен по результатам сравнительного анализа двух спутниковых технологий – базовой, на основе АБС, и новой, на ос-

нове Спутниковой системы. Сравнительный анализ затрат проведен для трех видов работ: создание ОМС, определение границ земельных участков, картографическое обеспечение кадастра объектов недвижимости для территории г. Москвы и Московской области. В расчетах затраты на выполнение работ оценены в соответствии с ценой услуг, предоставляемых ФГУП «Госземкадастръемка» - ВИСХАГИ, рыночными ценами, сформировавшимися в Московской области.

Таблица 2.

Затраты по базовой и новой технологии

Производственный процесс	Ед. измерения	Объем работ	Стоимость ед. измерения (тыс. руб.)		Стоимость работ (млн. руб.)		Трудозатраты чел. / мес.	
			АБС	РС	АБС	РС	АБС	РС
Создание ОМС	пункт	32000	5	–	160	–	2986	–
Определение границ земельных участков	участок	1700000	1.37	0.64	2329	1088	32381	15179
Создание ортофотопланов:	лист	6000	20.0	12.0	120	72	1666	1000
	лист	2158	28.5	17.1	61.5	36.9	854	514
ИТОГО:					2670.5	1196.9	37887	16693

Полученные результаты для территории г. Москвы и Московской области свидетельствуют о том, что производительность новой технологии в кадастровой сфере выше базовой в 2.3 раза, экономия затрат составляет более 50 %.

2. Методы определения координат объектов с применением Спутниковой системы (проект «Москва»)

Содержанием главы является разработка методов координатных определений с применением Спутниковой системы (проект «Москва»). Каждый из методов включает математическую модель определения координат объектов, методики измерений, уравнительных вычислений с контролем результатов, представлением результатов с полнотой и в форме, предусмотренной нормативными документами. Главными отличиями разработанных методов от ранее применявшихся являются замена отдельных АБС сетью РС, что позволяет организовать сетевое решение и уменьшить время измерений на определяемых точках, обеспечить исчерпывающий контроль промежуточных и конечных ре-

зультатов, отказаться от создания плотных геодезических сетей, облегчить и удешевить весь комплекс работ по определению координат.

Многообразие измерительных и вычислительных схем, используемых в Спутниковой системе (проект «Москва»), многообразие погрешностей, сопровождающих измерения и их обработку, требуют учета в этих схемах конкретной ситуации. Учет ситуации осуществляется выбором и применением оптимальных параметров настройки приемников РС, программного обеспечения, полевых приемников. Для выбора оптимальных параметров настройки Спутниковой системы выполнены соответствующие эксперименты.

По результатам экспериментов, проведенных в режиме постобработки, в первом приближении обоснованы точностные характеристики Спутниковой системы в этом режиме. Они превышают требования по точности координатного обеспечения кадастра. Использование сети референчных станций в режиме постобработки позволяет отказаться от таких традиционных этапов спутниковых полевых работ, как установка АБС на исходных пунктах, а также обеспечивает исчерпывающий контроль и более высокую по сравнению с одной автономной базовой станцией точность определения координат объектов. Включение в уравнивательный процесс трех и более референчных станций (оптимально 5-7) обеспечивает высокую точность и контроль результатов, практически не увеличивая при этом временных затрат. Позволяет сократить время наблюдений и увеличить предельное расстояние между опорными РС и определяемыми точками при сохранении высокой точности.

Было доказано, что использование сети референчных станций в режиме реального времени обеспечивает достаточно высокую точность определения координат объектов, на уровне первых единиц сантиметров. Эта точность сохраняется на удалениях от ближайшей референчной станции до 30 км, в то время как при использовании одной АБС удаление ограничивается 15 км. В режиме реального времени для получения результатов на сантиметровом уровне точности рекомендуется определения выполнять по измерениям не менее чем семи спутников. С учетом полученных результатов в Спутниковой системе (проект «Москва») внедрен и применяется метод ПРС – псевдо виртуальной

референцной станции, удаленной от приемника пользователя на расстояние 4-5 км, что расширяет возможности Спутниковой системы при определениях координат в кинематическом режиме.

Разработанные в главе 2 методы обеспечивают определение координат объектов с использованием Спутниковой системы (проект «Москва») в системе ITRF2000 (на эпоху 1997.0) в обоих режимах (постобработки и реального времени) со ср. кв. ошибками первых единиц сантиметров. Конкретный вклад автора заключается в разработке методик и руководств по работе со спутниковым оборудованием в обоих режимах, математической обработки измерений в режиме постобработки, в исследовании точностных возможностей Спутниковой системы в режимах постобработки и реального времени при разных её настройках, в разработке форм отчетных документов в соответствии с нормативными требованиями.

Полученные автором результаты внедрены в Спутниковой системе и используются её обслуживающим персоналом, пользователями в процессе координатных определений.

3. Практическое применение Спутниковой системы (проект «Москва») при решении задач геодезического обеспечения кадастра объектов недвижимости

Данная глава является основной в диссертации, содержащей главные объекты защиты. В ней исследованы и определены точностные возможности Спутниковой системы (проект «Москва»), исследованы точностные характеристики ГГС на территории Московской области в системах координат СК-95 и СК-63, определены локальные параметры перехода от системы ITRF2000 к системам СК-95 и СК-63 на территории Московской области, обоснованы возможности определения координат центров фотографирования при аэрофотосъемке с применением Спутниковой системы (проект «Москва»). Перечисленные выше исследования и результаты выполнены и получены лично автором.

Спутниковая система может быть использована для решения следующих основных задач:

- Определения координат объектов (пунктов ОМС, поворотных точек границ земельных участков, точек плано-высотной подготовки аэрофотоснимков).

- Определения локальных параметров перехода от одной системы координат к другой.
- Определения координат центров фотографирования в процессе аэрофото- съемки.

Определению локальных параметров связи между системами координат предшествует определение координат геодезических пунктов в этих системах, определению координат ЦФ – определение координат фазового центра антенны (ФЦА) приемника, установленного на борту носителя аэрофотокамеры. Указанная связь облегчает исследование и решение вышеперечисленных задач по одному и тому же измерительному материалу. Общим материалом послужили измерения, проведенные с помощью Спутниковой системы на 617 пунктах ГГС 1-3 классов на территории г. Москвы и Московской области. В условиях сильной закрытости горизонта конкретного пункта на расстоянии не более 1 км устанавливалась вспомогательная точка – точка выноса. Всего заложены 344 точки выноса. Пункты ГГС и точки выноса явились аналогами объектов, точность определения которых и подлежит анализу.

Спутниковые измерения на пунктах ГГС выполнялись в соответствии с разработанной автором методикой наблюдений, определение координат пунктов в системе ITRF2000 (на эпоху 1997.0) – с использованием Спутниковой системы в соответствии с разработанной методикой математической обработки.

Контроль качества полевых измерений и камеральной обработки выполнялся в ходе вычислительного процесса. Качество оценивалось по нескольким критериям, в том числе по:

- Расхождению координат одних и тех же пунктов (точек выноса), определенных в разные дни. Допустимое расхождение в плане не должно превышать 5 см, по высоте 10 см. Допуски назначены в соответствии с ожидаемыми ср. кв. ошибками определения координат пунктов в постобработке (в плане 1-2 см, в высоте 2-3 см) при доверительной вероятности 0.997.
- Расхождению координат одних и тех же пунктов (точек выноса), определенных в режимах постобработки и реального времени. Допустимые расхождения не должны превышать в плане 5 см, по высоте 10 см. Эти допуски также назначены в соответствии с ожидаемыми ср. кв. ошибками определе-

ния координат пунктов в постобработке (см. выше) и в режиме реального времени (в плане 2 см, в высоте 3 см) при доверительной вероятности 0.997.

- Расхождению координат пункта (точки выноса), полученных по конкретной базовой линии, от координат, полученных из совместного решения по всем базовым линиям (не меньше трех) в режиме постобработки. Допустимое расхождение в соответствии с ожидаемыми ср. кв. ошибками координат пунктов не должно превышать по радиус-вектору 7 см.
- Ср. кв. ошибкам положения пункта по внутренней сходимости из уравнивания по программе обработки (SKI_Pro v.3.0, ф. Leica, Швейцария). Ср. кв. ошибки в плане не должны превышать 2 см, по высоте 3 см.

По этим критериям отбракованы измерения и результаты определения координат на 85 пунктах, что явилось следствием неблагоприятных условий измерений (закрытый горизонт, наличие многолучевости на пунктах).

Определенные с использованием Спутниковой системы координаты 532 пунктов ГГС на территории Московской области позволили оценить их точность в системе ITRF2000 (на эпоху 1997.0) и оценить, следовательно, точностные возможности Спутниковой системы. Точность координат оценена по разностям двойных определений (измерений в разные дни), точностные возможности Спутниковой системы в режиме постобработки – также по двойным определениям, в режиме реального времени – сравнением координат, определенных в режимах постобработки и реального времени. Ср. кв. ошибки положения пункта (точки выноса) в плане и по высоте в системе координат ITRF2000 приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Точность координат пунктов ГГС (точек выноса) в системе ITRF2000

Режим измерений	Ср. кв. ошибки из уравнивания			Ср. кв. ошибки из двойных измерений для постобработки, из сравнения со статикой для режима реального времени		
	число определений	в плане (см)	по высоте (см)	число определений	в плане (см)	по высоте (см)
постобработка						
пункты ГГС	795	0.8	1.2	242	0.6	1.7
точки выноса	595	0.2	0.3	246	0.4	1.4
реальное время						
пункты ГГС	794	1.3	2.2	748	1.7	3.4
точки выноса	764	1.2	1.8	743	1.6	2.8

Приведенные ср. кв. ошибки характеризуют точность Спутниковой системы в обоих режимах в благоприятных (точки выноса) и удовлетворительных (пункты ГГС) условиях измерений.

Построенная по спутниковым измерениям однородная по точности сеть пунктов ГГС в системе ITRF2000 послужила основой вычисления локальных параметров перехода от системы ITRF2000 к государственной и местным системам координат на территории г. Москвы и Московской области.

Методология вычисления параметров перехода основана на трансформировании координат пунктов из системы ITRF2000 в СК-95, СК-63 методом ортогональных преобразований с использованием формул Гельмерта (переход по 4 параметрам). Определение локальных параметров перехода из системы ITRF2000 в СК-95, СК-63 выполнено для всей области в целом, для каждой трапеции масштаба 1:100000 (40 трапеций).

В таблицах 4-5 представлена частная выборка остаточных уклонений – V_x , V_y координат пунктов ГГС в СК-95 и СК-63, полученных из решения в отдельной трапеции N-37-15, из решения в целом по Московской области. Остаточные уклонения характеризуют взаимные деформации двух сетей.

Таблица 4.

Остаточные уклонения координат пунктов в СК-95

№/№ п.п.	Класс	Название пунктов	Остаточные уклонения в трапеции N-37-15 (см)		Остаточные уклонения по Московской области (см)	
			V_x	V_y	V_x	V_y
1	3	Игнатово	-2.4	0.2	-1.3	3.7
2	2	Бородки	0.6	0.7	1.7	3.5
3	3	Луковня	-4.4	-1.0	-2.6	2.1
4	2	Архангельское	1.7	-4.3	3.5	-1.3
5	2	Колотилово	-2.6	-0.1	-1.0	3.3
6	3	Овечкино	-4.9	0.5	-3.2	4.0
7	2	Шаганино	-1.2	0.2	0.5	3.4
8	3	Ватутинки	7.7	-4.2	9.3	-1.0
9	2	Тимонино	0.7	2.4	1.9	5.7
10	2	Плесково	-2.9	4.5	-1.6	8.1
11	2	Зайцево	0.3	-0.5	1.4	2.4
12	2	Южный базис	1.1	-1.4	2.6	1.4
13	2	Жаворонки	3.2	0.4	4.1	3.3
14	2	Сумино	2.7	2.1	3.6	5.2
Ср. кв. значение			3.2	2.2	3.4	3.9

Таблица 5.

Остаточные уклонения координат пунктов в СК-63

№/№ п.п.	Класс	Название пунктов	Остаточные уклонения в трапеции N-37-15 (см)		Остаточные уклонения по Московской области (см)	
			Vx	Vy	Vx	Vy
1	3	Игнатово	0.7	-14.6	10.0	-34.9
2	2	Бородки	-6.7	5.4	2.6	2.4
3	3	Луковня	15.5	5.2	7.9	-5.8
4	2	Архангельское	3.6	6.4	-1.9	-0.8
5	2	Колотилово	9.1	-1.8	6.3	-19.4
6	3	Овечиное	13.8	-5.2	6.9	-24.9
7	2	Шаганино	8.5	1.1	2.8	-13.0
8	3	Ватутинки	-4.0	6.0	-6.3	-5.9
9	2	Тимонино	-7.2	-13.3	0.9	-28.8
10	2	Плесково	3.2	-15.4	8.5	-37.0
11	2	Зайцево	-8.6	5.6	-0.2	-0.4
12	2	Южный базис	-0.7	1.7	-0.7	-0.5
13	2	Жаворонки	-11.3	0.5	0.7	-6.1
14	2	Сумино	-13.3	-9.5	-0.5	-20.8
Ср. кв. значение			8.9	8.1	5.2	19.1

Полученные остаточные уклонения свидетельствуют о том, что переход от координат объектов в системе ITRF2000 к координатам в системе СК-95 осуществляется с ошибкой на уровне 3-4 см в плане. Иную картину имеем в СК-63. Пункты с номерами 1, 5, 6, 9, 10, 14, расположенные на местности компактно, имеют общий сдвиг по оси у в среднем на -27 см. Применение локальных параметров на меньшей площади (в трапеции) позволило уменьшить взаимную несогласованность координат, общий сдвиг этих пунктов уменьшился до -10 см. Его можно уменьшить ещё более, ограничивая локальную область. Параметры трансформирования в этом случае обеспечивают согласие координат поворотных точек границ земельных участков с координатами соседних пунктов сети, независимо от того каким методом (традиционным или спутниковым) осуществляется их привязка. Это подтверждает необходимость в условиях недостаточной точности сети в местной системе координат (в данном случае в системе 1963 г.) определения и применения локальных параметров трансформирования.

Остаточные уклонения координат пунктов ГГС, полученные при выводе локальных параметров перехода (разность между известными координатами в системах СК-95, СК-63 и вычисленными по полученным локальным параметрам

рам перехода), являются следствием деформаций двух сетей. Ср. кв. ошибки положения пунктов ГГС в системе ITRF2000 известны и составляют в плане менее 1 см. Это позволяет оценить точность плановых координат пунктов ГГС в системах СК-95 и СК-63.

Поскольку уравнивание ГГС в СК-95 выполнено отдельно для пунктов 1-2 и 3 классов, то и анализ точности проведен отдельно для 1-2 классов и 3. В качестве исходной информации для исследования точности ГГС в СК-95 были выбраны координаты 455 пунктов ГГС в системах СК-95 и ITRF2000, в том числе 24 пункта 1 класса, 174 пункта 2 класса, 257 пунктов 3 класса. Из них в процессе вывода параметров перехода были исключены 35 пунктов по причине недопустимых остаточных уклонений (> 20 см). В окончательное уравнивание вошли 420 пунктов.

Основные выводы о точности ГГС в системе координат 1995 г. на территории г. Москвы и Московской области сводятся к следующему:

- ср. кв. ошибки положения пунктов 1, 2 классов составляют 5.6 см;
- ср. кв. ошибки положения пунктов 3 класса составляют 6.4 см;
- ср. кв. ошибки взаимного положения соседних пунктов 1, 2 классов ($S \leq 30$ км) составляют 6.3 см;
- ср. кв. ошибки взаимного положения соседних пунктов 3 класса ($S < 15$ км) составляют 6.3 см;
- ср. кв. ошибки положения пунктов 1-3 классов в среднем по 40 трапециям масштаба 1:100000 составляют 2.6 см.

Для исследования точности ГГС в СК-63 в качестве исходной информации были выбраны координаты 455 пунктов ГГС в системах СК-63 и WGS-84, участвовавших при исследовании точности ГГС в СК-95. Деление сети пунктов в СК-63 на классы и исследование точности положения пунктов 1, 2, 3 классов в отдельности не проводилось, так как предполагается невысокая точность сети в целом. Из 455 пунктов из-за недопустимых остаточных уклонений (> 20 см) отбраковано 82 пункта.

Основные выводы о точности ГГС в системе 1963 г. на территории г. Москвы и Московской области сводятся к следующему:

- ср. кв. ошибки положения пунктов 1-3 классов составляют 25.6 см;
- ср. кв. ошибки взаимного положения соседних пунктов ($S \leq 30$ км) составляют 15.8 см;
- ср. кв. ошибки положения пунктов в среднем по 40 трапециям масштаба 1:100000 составляют 6.1 см.

Подводя итог данному исследованию, отметим, что представление ГГС в системе 1995 г. качественно улучшило на территории г. Москвы и Московской области её точностные характеристики по сравнению с сетью в системе 1963 г., основанной на системе 1942 г. Повышение точности плановых координат на территории г. Москвы и Московской области составило, как показали наши исследования, более 2 раз. ГГС в системе 1995 г. на территории г. Москвы и Московской области удовлетворяет современным требованиям кадастра объектов недвижимости, ГГС в системе 1963 г. этим требованиям не удовлетворяет.

Представим результаты исследования возможностей Спутниковой системы по определению координат ЦФ. Для создания ортофотопланов крупных масштабов (1:1000, 1:2000) линейные элементы внешнего ориентирования аэрофотоснимков (координаты ЦФ) должны определяться, как показали исследования ФГУП «Госземкадастръемка» - ВИСХАГИ, со ср. кв. ошибками на уровне 10 см. В свою очередь до определения координат ЦФ необходимо вычислить координаты фазового центра антенны (ФЦА) бортового приемника. 22 РС Спутниковой системы (проект «Москва») могут обеспечить геодезическую привязку координат центров фотографирования на территории Московской области, территориях других областей, примыкающих к границам Московской области с сантиметровой точностью, что достигается за счет высокой точности взаимного положения РС, высокоточной измерительной информации с РС, использования для привязки фазовых центров антенн бортового приемника нескольких РС.

В традиционной постановке технология определения координат ФЦА заключается в следующем. Носитель аэрофотокамеры (самолет) оборудуется бортовым спутниковым приемником, который в процессе АФС набирает спутнико-

вую измерительную информацию. На земной поверхности в районе АФС устанавливается приемник (АБС), который также набирает измерительную информацию со спутников. Результатом их совместной обработки в режиме кинематики являются координаты ФЦА бортового приемника, которые далее редуцируются к ЦФ. Точность определения ФЦА при такой технологии находится на уровне дециметров. Это обеспечивает требования к созданию ортофотопланов масштаба 1:10000. Но для создания ортофотопланов масштабов 1:1000 - 1:2000 эта технология не годится.

Точность геодезической привязки ФЦА бортового приемника с использованием Спутниковой системы определена в результате эксперимента, проведенного на реальном измерительном материале, полученном 28 июня 2006 г. при выполнении АФС территории Воскресенского района Московской области. В качестве измерительного материала использовались измерения бортового приемника с дискретностью измерений 0.5 с, установленного на борту чешского самолета Л410 вместе с цифровой аэрофотокамерой АДС40, измерения РС с дискретностью измерений 1 с, измерения АБС с дискретностью измерений 0.5 с. Сравнение результатов двух технологий (традиционной с использованием АБС и новой сетевой) предоставило возможность для суждения об их точностях. Использование ближних и удаленных РС от района АФС позволило сформировать также суждение о точности определения координат ФЦА в зависимости от удаления траектории от сети РС.

Технология исследования заключалась в следующем. В интервале АФС с РС (4-х ближних: Коломна, Агашкино, Ногинск, Лесной, 3-х удаленных: Ершово, Лотошино, Лыткино) и бортового приемника выбиралась измерительная информация в синхронные моменты времени. На эти моменты по измерительной информации каждой из РС и бортового приемника вычислялись координаты ФЦА бортового приемника. Находилась среднее значение координат в каждый из моментов по всем РС, вычислялись отклонения от среднего по каждой РС. Далее по вычисленным отклонениям вычислялись ср. кв. ошибки координат, полученных от каждой РС, ср. кв. ошибки координат, полученных по каждой совокупности РС. Результаты определения координат ФЦА (ср. кв.

ошибки по широте – B , долготе – L , высоте – H в системе координат ITRF2000) представлены в таблице 6.

Таблица 6.

Ср. кв. ошибки определения координат ФЦА при АФС
в Воскресенском районе

По измерениям	Ср. кв. ошибки		
	B (см)	$L \cos B$ (см)	H (см)
АБС	5.7	3.5	12.9
4-х ближайших РС (30-40 км)	2.1	2.5	5.0
3-х удаленных РС (120-220 км)	3.4	3.1	5.8

Все вычисления с использованием информации РС Системы проведены для измерений с дискретностью 1 с. Редуцирование координат ФЦА к центру фотографирования в момент открытия затвора аэрофотокамеры осуществляется интерполированием. В связи с быстрым изменением положения ФЦА бортового приемника в полете (~ 80 м/с) возникает вопрос о необходимой частоте регистрации спутниковых измерений и точности интерполяции координат. Максимальные ошибки возникают при интерполировании на середину интервала, на концах которого координаты известны. Необходимо оценить точность интерполяции на моменты, кратные 0.5 с. Оценка выполнена сравнением координат, вычисленных по измерениям АБС с дискретностью 0.5 с, и координат с дискретностью 0.5 с, полученных интерполированием от координат, определенных по совокупности РС.

В ходе исследования были определены степень и вид интерполяционного полинома, а также ожидаемая ошибка интерполирования на середину секундного интервала. Ср. кв. ошибки интерполяции при использовании полинома Лагранжа 2 степени составили по широте 1.3 см, по долготе 0.4 см, по высоте 2.6 см. Отклонения интерполированных значений координат от вычисленных по измерениям АБС колеблются в пределах: по широте от -3.9 см до 3.4 см, по долготе от -1.0 см до 1.4 см, по высоте от -10.0 см до 6.4 см. В этих отклонениях содержатся суммарно ошибки интерполирования и измерений. Таким образом,

в широте и долготе отклонения меньше 5 см, в высоте же ошибок более 5 см насчитывается 10%. Далее исследованы возможности интерполяционного полинома третьей степени в виде кубического сплайна. Ср. кв. ошибка интерполяции кубическим сплайном составила в среднем по широте 1.5 см, по долготе 0.4 см, по высоте 1.7 см. Отклонения интерполированных значений координат от вычисленных по измерениям АБС колеблются в пределах: по широте от –4.0 см до 4.4 см, по долготе от –1.2 см до 0.9 см. по высоте от –8.1 см до 3.1 см. Таким образом, в широте и долготе отклонения заведомо меньше 5 см, в высоте же ошибок более 5 см насчитывается 5%. Таким образом, использование кубического сплайна практически не привело к улучшению результата. При требовании определения координат ФЦА бортового приемника на уровне ср. кв. ошибок 10 см, полученные ошибки интерполирования с использованием обоих полиномов не оказывают заметного влияния на результат.

Общий вывод по определению координат ФЦА при выполнении АФС территории Воскресенского района Московской области заключается в том, что для определения координат ФЦА на территории г. Москвы и Московской области можно использовать Спутниковую систему (проект «Москва») с дискретностью измерений 1 с. При этом ошибки определения координат ФЦА в плане и по высоте не превысят 3 и 5 см соответственно. Применение новой технологии позволит частично или полностью отказаться от планово-высотной подготовки снимков для создания ортофотопланов любых масштабов. Этим обеспечится более высокая экономическая эффективность создания ортофотопланов по сравнению с существующей технологией.

Заключение. Учитывая цель диссертации, которая заключалась в разработке методов практического применения Спутниковой системы (проект «Москва») для координатного обеспечения кадастра объектов недвижимости, в ней получены следующие конкретные результаты.

1. Разработаны и внедрены методики спутниковых измерений и их математической обработки в режимах постобработки и реального времени, адаптированные к условиям и требованиям геодезического обеспечения кадастра объектов недвижимости, мониторинга земель и землеустройства. Они обеспе-

чивают создание опорных межевых сетей, определение координат поворотных точек границ земельных участков с требуемой точностью.

2. На обширном экспериментальном материале с определением координат ~ 600 пунктов ГГС исследованы точностные возможности Спутниковой системы (проект «Москва»). Спутниковая система с её аппаратно-программными средствами обеспечивает определение координат объектов в режиме постобработки со ср. кв. ошибками 1-2 см, в режиме реального времени – 2-3 см. Эти результаты явились доказательством высоких возможностей Спутниковой системы и основанием выдачи уполномоченным органом государственной власти двух сертификатов на соответствие Спутниковой системы заявленным точностным характеристикам (№ 03.009.0293, № 03.009.0294 от 31.10.2005 г.). Такая точность позволяет использовать Спутниковую систему (проект «Москва») не только для геодезического обеспечения кадастра объектов недвижимости, но и в других сферах, где требуется высокая точность определения координат объектов.

3. Определены локальные параметры перехода (согласующие элементы трансформирования) от системы ITRF2000 к государственной системе СК-95, местной системе СК-63. Точность перехода лимитируется только точностью взаимного положения пунктов геодезических сетей, закрепляющих перечисленные системы координат. Спутниковая система обеспечена, таким образом, геодезической инфраструктурой, позволяющей решать задачи геодезического обеспечения кадастра объектов недвижимости, мониторинга земель и землеустройства.

4. Независимым средством и методом исследована точность Государственной геодезической сети на территории Московской области. Установлено, что взаимное положение соседних пунктов ГГС 1-3 классов в системе СК-95 определено в плане со ср. кв. ошибками 6 см. ГГС в системе СК-63 имеет точность в 2.5 раза ниже (ср. кв. ошибка в плане составляет 15 см). Точность ГГС в системе СК-95 удовлетворяет современным требованиям координатного обеспечения кадастра, ГГС в системе СК-63 этим требованиям не удовлетворяет.

5. Исследована возможность применения Спутниковой системы по определению координат центров фотографирования в процессе аэрофотосъемки.

На территории г. Москвы и Московской области, обслуживаемой указанной Системой, ср. кв. ошибки определения координат центров фотографирования составляют 3 см в плане, 5 см по высоте.

Полученные автором результаты внедрены в производственную практику и обеспечили эффективное применение Спутниковой системы (проект «Москва») в решении геодезических задач в сферах землеустройства, строительства, планирования территорий, в решении других задачи, нуждающихся в высокоточном определении координат.

По теме диссертации автором самостоятельно и в соавторстве опубликованы работы:

- Спутниковые технологии точного позиционирования. Режим реального времени. Первый опыт в России // журн. Информационный бюллетень Гис ассоциации – 2004, №4.
- Спутниковые технологии точного позиционирования. Исследование точностных возможностей режима реального времени // журн. Информационный бюллетень Гис ассоциации – 2004, №5.
- Исследование точностных возможностей Спутниковой системы позиционирования в режимах статики и реального времени / соавт.: Е.А. Булаева // журн. Геодезия и Картография – 2005, №9.
- Опыт геодезического применения Спутниковой системы точного позиционирования (проект «Москва») // журн. Известия вузов. Геодезия и Аэрофотосъемка – 2006, № 6.
- Создание и опытно-производственная эксплуатация Спутниковой системы межевания земель Москвы и Московской области / соавт.: В.В. Бойков // журн. Автоматизированные технологии изысканий и проектирования – 2006, №2.
- Возможности Спутниковой системы (проект «Москва») по высокоточному определению координат объектов / соавт.: А.В. Бойков, Е.А. Булаева // журн. Геодезия и Картография – 2006, №8.
- Исследование точности Государственной геодезической сети на территории Московской области с использованием Спутниковой системы (про-

ект «Москва») / соавт.: С.А. Логинов, В.В. Бойков, В.П. Рогозин // журн. Геодезия и Картография – 2007, № 3.

Кроме того, результаты исследований автора нашли отражение в следующих научно-технических отчетах:

- Методика измерений спутниковой аппаратурой Leica GPS System 500 (SR530) в режиме реального времени. – М. : ФГУП «Госземкадастръемка» – ВИСХАГИ (Центр спутниковых технологий), 2005. – 12 с.
- Методика измерений спутниковой аппаратурой Leica GPS System 500 (SR530) в режиме статики. – М. : ФГУП «Госземкадастръемка» – ВИСХАГИ (Центр спутниковых технологий), 2005. – 7 с.
- Методическое руководство по работе пользователей с оборудованием Leica GPS System 500 (SR530). Режим реального времени. – М. : ФГУП «Госземкадастръемка» – ВИСХАГИ (Центр спутниковых технологий), 2005. – 42 с.
- Научно-технический отчет. Исследование возможностей Спутниковой системы (проект «Москва») по определению координат центров фотографирования. – М. : ФГУП «Госземкадастръемка» - ВИСХАГИ (Центр спутниковых технологий), 2005. – 117 с.
- Описание Спутниковой системы межевания земель г. Москвы и Московской области. – М. : ФГУП «Госземкадастръемка» - ВИСХАГИ (Центр спутниковых технологий), 2005. – 49 с.
- Технический отчет. Определение параметров перехода от системы координат WGS-84 к государственной и местным системам координат. – М. : ФГУП «Госземкадастръемка» – ВИСХАГИ (Центр спутниковых технологий), 2005. – 70 с.
- Технология постобработки спутниковой измерительной информации референционных станций и Заказчика. – М. : ФГУП «Госземкадастръемка» - ВИСХАГИ (Центр спутниковых технологий), 2006. – 30 с.