



Войтенко Андрей Владимирович



**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ
ПЛАНОВОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ GPS
ПРИ МЕЖЕВАНИИ ЗЕМЕЛЬ**

25.00.32 – «Геодезия»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

05 ДЕК 2008

Новосибирск – 2008

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Омский государственный аграрный университет» и в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирская государственная геодезическая академия».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Уваров Анатолий Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Уставич Георгий Афанасьевич;
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник
Лапко Александр Петрович

Ведущая организация – Омский филиал Федерального государственного
унитарного предприятия «Федеральный
Кадастровый Центр «Земля»

Защита состоится 17 декабря 2008 г. в 15.00 час. на заседании диссертационного совета Д 212.251.02 в Сибирской государственной геодезической академии по адресу: 630108, Новосибирск, 108, ул. Плахотного, 10, СГГА, ауд. 403.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СГГА.
Автореферат разослан 14 ноября 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Середович В.А.

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997 г.

Подписано в печать 11.11.2008. Формат 60 × 84 1/16
Усл. печ. л. 1,28. Уч.-изд. л. 0,99. Тираж 100 экз. Заказ 108

Редакционно-издательский отдел СГГА
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГГА
630108, Новосибирск, Плахотного, 8.

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследований. В настоящее время правительство РФ особое внимание уделяет созданию единой государственной системы учёта недвижимости. На сегодняшний день земельные участки на территории страны принадлежат многим миллионам собственников. Рынок земли и недвижимости быстро развивается: осуществлена приватизация земли, большая часть сельскохозяйственных угодий бывших колхозов и совхозов передана в частную собственность миллионов граждан, провозглашено право на создание частных сельскохозяйственных организаций, разрешены сделки с землей. В связи с этим увеличивается объем работ по межеванию земель.

Вместе с развитием нормативной и законодательной базы по производству межевания земель совершенствуются и методы геодезических измерений. Наряду с традиционными способами определений координат точек земной поверхности, используются и спутниковые навигационные системы.

При геодезических работах со спутниковыми системами применяются различные технологии по созданию съёмочного обоснования, а также топографической съёмке местности. Для развития съёмочного обоснования с использованием спутниковой технологии, в зависимости от проектируемого масштаба съёмки и высоты сечения рельефа, может применяться как метод построения сети, так и метод определения висячих пунктов. Метод, которым производятся спутниковые наблюдения, в большинстве случаев – относительный. При развитии съёмочного обоснования от пунктов геодезической основы может быть применен статический, быстрый статический режим спутниковых наблюдений или метод реаккупации. Эти же режимы спутниковых наблюдений могут быть использованы при топографической съёмке ситуации и рельефа и для определения плановых координат межевых знаков. Также может быть использован кинематический режим спутниковых наблюдений. Каждый из режимов относительного метода спутниковых наблюдений отличается продолжительностью сеанса и точностью спутникового позиционирования, а также технологией сбора данных.

При использовании режима быстрой статики продолжительность сеанса спутниковых наблюдений подвижной станцией на точке может быть различной в зависимости от числа наблюдаемых спутников.

Установление зависимости между точностью получения плановых координат определяемой точки и длиной пространственного GPS-вектора, а также продолжительностью сеанса спутниковых наблюдений позволит повысить скорость выполнения полевых работ и оптимизировать технологию полевых геодезических работ со спутниковыми приемниками при межевании земель.

Как известно, относительные методы спутниковой геодезии позволяют определять приращения пространственных прямоугольных координат в системе

координат спутников с сантиметровой или субсантиметровой точностью при расстояниях между одновременно работающими приемниками в несколько десятков, сотен и даже тысяч километров. Государственная система координат и образованные от нее системы координат городов и районов имеют локальные искажения, обусловленные методами их создания и уравнивания измерений сети. Вследствие этого определение координат точек земной поверхности спутниковыми методами в государственной или местной системе координат при использовании длинных базовых линий становится затруднительным, так как погрешность взаимного положения пунктов превышает точность спутникового позиционирования. Моделирование локальных искажений различных систем координат с помощью относительных методов спутниковой геодезии, а также использование этой модели для определения координат точек земной поверхности в необходимой системе координат и выполнение с ее помощью мониторинга месторождений полезных ископаемых, промышленных земель и городской застройки на сегодняшний день является актуальной задачей.

Геодезической основой для определения плановых координат межевых знаков служат как пункты государственной геодезической сети (ГГС), так и пункты опорной межевой сети (ОМС) и пункты городских кадастровых сетей. Геодезические пункты могут находиться в неблагоприятных для спутниковых измерений местах, например в залесенной или застроенной местности. Деревянные или металлические сигналы, установленные над пунктами, создают помехи для спутниковых измерений. Наблюдения на таких пунктах, особенно с помощью одночастотных приемников, приводят к некачественному определению пространственных GPS-векторов. Таким образом, возникает задача совершенствования технологии геодезической привязки при помощи спутниковых приемников.

При создании планового геодезического обоснования для последующего определения координат межевых знаков или создания опорной межевой сети на территории поселений, особенно в зимнее время, удобнее выполнять привязку к стенным знакам.

Совершенствование технологии привязки, связанное с использованием спутниковых приемников, и передача координат на стенные знаки представляют большой практический интерес.

Цель работы состоит в совершенствовании определения плановых координат отдельных точек при применении средств спутникового позиционирования путем использования модели локальных искажений применяемой системы координат, оптимизации продолжительности сеанса измерений и разработки новых схем привязки к пунктам опорной сети.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать факторы, влияющие на точность определения координат с помощью приемников глобальных навигационных спутниковых систем;

- исследовать влияние продолжительности сеанса спутниковых наблюдений и расстояний между синхронно работающими спутниковыми приемниками на точность получения параметров пространственного GPS-вектора;

- выполнить анализ влияния локальных искажений применяемой системы координат на точность определения плановых координат пункта;

- разработать рекомендации по совершенствованию технологии создания геодезического обоснования с использованием спутниковых приемников.

Методика исследований. Выполненные исследования базировались на анализе научной и технической литературы, нормативных документов, результатов экспериментальных работ. Для решения поставленных задач были широко использованы:

- теория погрешностей измерений;

- теория математической обработки геодезических измерений;

- теории вероятностей и математической статистики;

- методы математического моделирования.

Научная новизна выполненной работы состоит:

- в выявлении зависимости точности координат точки, определяемой одним пространственным GPS-вектором, от продолжительности сеанса спутниковых наблюдений и длины пространственного GPS-вектора;

- в разработке методики построения и использования модели локальных искажений применяемой системы координат при определении плановых координат точки, получаемых при использовании относительного метода спутниковой геодезии;

- в разработке рекомендаций по совершенствованию технологии создания геодезического обоснования при использовании спутниковых приемников.

На защиту выносятся:

- формулы предвычисления точности получения координат точки, определяемой относительным методом спутниковой геодезии в зависимости от продолжительности сеанса спутниковых наблюдений и длины пространственного GPS-вектора;

- методика построения и использования модели локальных искажений применяемой системы координат при определении плановых координат точки, получаемых при использовании относительного метода спутниковой геодезии;

- способ передачи координат центра пункта ГГС на вспомогательные точки с помощью спутниковых приемников;

- способ привязки геодезических построений к стенным знакам с помощью спутниковых приемников.

Практическая значимость работы состоит в следующем.

1. Получены формулы, позволяющие предвычислить погрешность получения координат точки, определяемой относительным методом спутниковой геодезии, в зависимости от продолжительности сеанса спутниковых наблюдений и

длины пространственного GPS-вектора, что дает возможность оптимизировать время спутниковых наблюдений при проведении полевых геодезических работ.

2. Разработана методика построения и использования модели локальных искажений применяемой системы координат при определении плановых координат точки, получаемых при использовании относительного метода спутниковой геодезии. Применение данной методики позволяет получать плановые координаты определяемой точки на ограниченной территории с точностью, удовлетворяющей требованиям топографических съемок масштаба 1 : 1 000, при удалении от базовой станции на расстояние до 80 км. Применение этой методики может быть необходимо для определения координат точек земной поверхности в заданной системе координат, а также с ее помощью может выполняться мониторинг месторождений полезных ископаемых, промышленных земель и городской застройки.

3. Разработан способ передачи координат центра пункта ГГС на вспомогательные точки с помощью спутниковых приемников, позволяющий при создании съемочного обоснования или опорных межевых сетей спутниковыми методами использовать пункты ГГС, находящиеся в неблагоприятных для спутниковых измерений местах.

4. Разработаны рекомендации по использованию спутниковых приемников при передаче координат на стенные знаки и привязке к ним.

Реализация результатов работы. Результаты работы используются в Западно-Сибирском филиале ФГУП «Госземкадастрсъемка» – ВИСХАГИ, ООО «ГеБ», Омском филиале Федерального государственного унитарного предприятия «Федеральный Кадастровый Центр «Земля», ООО «Сибирский Научно-Производственный центр Кадастровых Технологий» при топографо-геодезических работах в Омской, Томской, Кемеровской областях, Ханты-Мансийском АО.

На «Методику передачи координат пунктов государственной геодезической сети на вспомогательные пункты с помощью спутниковых приемников» получено Свидетельство на интеллектуальный продукт № 73200500057 от 25 марта 2005 г.

Результаты диссертационных исследований внедрены в учебный процесс ФГОУ ВПО «Омский государственный аграрный университет» (ОмГАУ).

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на научно-технических конференциях ФГОУ ВПО «ОмГАУ» в период 2003–2007 гг. (г. Омск); на научном конгрессе «ГЕО-Сибирь-2005» (г. Новосибирск, СГГА, 2005 г.); на Международном научном конгрессе «ГЕО-Сибирь-2006» (г. Новосибирск, СГГА, 2006 г.); на Международном научном конгрессе «ГЕО-Сибирь-2007» (г. Новосибирск, СГГА, 2007 г.).

Публикации. По теме диссертации имеется 8 публикаций, 5 из которых выполнены в соавторстве, две работы опубликованы в журнале «Геодезия и картография» – реферируемом издании ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем работы – 237 страниц (из них 90 страниц – приложения). Текст диссертации содержит 20 таблиц, 32 рисунка, 18 приложений.

Содержание

В первом разделе рассмотрены общие принципы проведения топографо-геодезических работ с помощью спутниковых приемников.

На точность геодезических работ со спутниковыми навигационными системами особое влияние оказывает метод спутникового позиционирования. Под методом спутникового позиционирования понимается абсолютный, относительный или дифференциальный методы спутниковых наблюдений.

Относительные спутниковые измерения при определении координат съёмочных точек проводятся в режиме кинематики или быстрой статики. Погрешность плановых координат с использованием режима статики для двухчастотных приемников можно определить по формуле

$$m_{xy} = 5 \text{ мм} + 1 \cdot 10^{-6} \cdot D, \quad (1)$$

где m_{xy} – погрешность планового положения определяемой точки, мм;

D – расстояние от исходной точки до определяемой, мм.

Эта формула справедлива для продолжительных сеансов спутниковых наблюдений и не учитывает времени спутниковых наблюдений для быстрого статического метода, которое может составлять от восьми минут до одного часа. Определение зависимости точности определения координат от продолжительности сеанса спутникового позиционирования, а также от расстояния между синхронно работающими приемниками является актуальной задачей. Исследование этого вопроса позволит существенно повысить производительность полевых геодезических работ со спутниковыми приемниками.

Актуальными на сегодняшний день являются также вопросы создания съёмочного обоснования и определения координат съёмочных точек с помощью спутниковых приемников в применяемой системе координат.

Во втором разделе выполнено исследование точности получения планово-высотных координат определяемой точки с использованием относительного метода спутниковой геодезии.

На первом этапе была проанализирована зависимость точности компонент пространственного GPS-вектора от продолжительности сеанса спутниковых наблюдений и его длины. Исследованием данного вопроса занимались такие отечественные ученые и специалисты производства, как д-р техн. наук, профес-

сор Антонович К.М., канд. техн. наук, доцент Скрипников В.А., Долганов И.М. и др., а также зарубежные ученые и специалисты: Eckl M.C., Snay R.A., Soler T., Cline M.W., Mader G.L., Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J.

Погрешность пространственного положения определяемой точки складывается из погрешностей спутниковых определений, а также из погрешностей параметров преобразования спутниковой и принятой на местности системы координат. Поэтому данное исследование проводилось в два этапа.

На первом этапе была выявлена зависимость погрешностей параметров пространственного GPS-вектора от продолжительности сеанса спутниковых измерений и длины самого вектора.

Для выполнения этих исследований был использован производственный эталонный полигон, представляющий собой сеть базовых станций на территории республики Башкортостан. При создании этого геодезического построения использовался опыт таких отечественных ученых, как канд. техн. наук., профессор Середович В.А., Куликова Л.Г., канд. техн. наук, доцент Сурнин Ю.В., д-р техн. наук, профессор Антонович К.М., канд. техн. наук, доцент Калужин В.А., канд. техн. наук, доцент Дударев В.И., д-р техн. наук, профессор Уставич Г.А., Клепиков А.Н.

Это геодезическое построение было выполнено Западно-Сибирским филиалом ФГУП «Госземкадастръёмка» – ВИСХАГИ для осуществления аэрофотосъёмочных работ с геодезической привязкой центров фотографирования в момент проведения аэрофотосъёмки. Точность полученной сети характеризуется средними квадратическими погрешностями взаимного положения смежных точек базовых станций по осям абсцисс, ординат и аппликат, равными 7,8; 5,6; 39,0 мм соответственно при среднем расстоянии между ними 161 км.

Такая точность соответствует точности спутниковой геодезической сети СГС-1 в плановом отношении. Средняя квадратическая погрешность определения высотной составляющей в данной сети лишь на 5 % превышает величину, характеризующую точность СГС-1 по геодезической высоте.

Для исследования точности получения компонент базовой линии на производственном эталонном полигоне были выполнены многосуточные двухчастотные спутниковые наблюдения, каждое из которых состояло из нескольких многочасовых сеансов. Минимальное время одного сеанса наблюдений составляло четыре часа. Измерения каждого сеанса обрабатывались за временные интервалы, равные 20, 40, 60 и 240 минутам. Для каждого временного интервала были получены значения компонент базовой линии. Значения абсолютных погрешностей определения каждой компоненты базовой линии были получены путем сравнения их с эталонным значением, вычисленным по координатам точек из сети базовых станций. Полученные погрешности были приведены к местной топоцентрической системе координат по известным формулам. Для выполнения статистического анализа полученные значения абсолютных погрешностей были ус-

ловно разделены на две группы: для базовых линий длиной от 200 до 300 км и для базовых линий длиной от 300 до 400 км. Каждая из этих групп была разделена еще на четыре независимые подгруппы в соответствии с временным интервалом спутниковых определений, равным 20, 40, 60 и 240 минутам. Таким образом, для каждого временного интервала статистическому анализу подверглось по две выборки абсолютных значений погрешностей определения каждой из составляющих базовой линии. Всего было проанализировано 2 295 данных.

По результатам статистического анализа был построен график зависимости средней квадратической погрешности вычисления вектора в пространстве от продолжительности сеанса спутниковых наблюдений и длины самого вектора, представленный на рисунке 1.

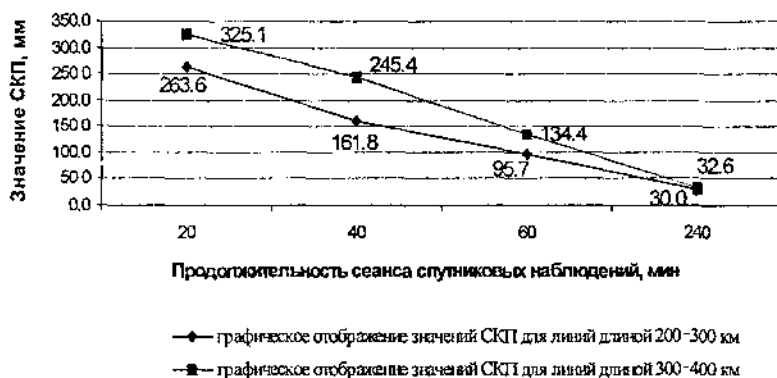


Рисунок 1 – График, отображающий зависимость точности определения пространственного GPS-вектора от продолжительности сеанса спутниковых наблюдений и длины базовой линии

Основываясь на статистических данных и используя метод наименьших квадратов, были получены формулы, выражающие зависимость каждой из составляющих базовой линии от длины пространственного вектора и от времени спутниковых наблюдений, определяемого количеством временных эпох, зарегистрированных за сеанс спутниковых наблюдений:

$$m_X = 0.15 \cdot D \cdot 10^{-6} + \frac{300 \text{ мм}}{\sqrt{t}}, \quad (2)$$

$$m_Y = 0.11 \cdot D \cdot 10^{-6} + \frac{250 \text{ мм}}{\sqrt{t}}, \quad (3)$$

$$m_Z = 0.3 \cdot D \cdot 10^{-6} + \frac{760 \text{ мм}}{\sqrt{t}}, \quad (4)$$

где m_X , m_Y , m_Z – средняя квадратическая погрешность по каждой из осей координат, мм;

D – длина базовой линии, мм;

t – количество временных эпох, зарегистрированных за сеанс спутниковых наблюдений.

Апробация формул проводилась на том же производственном эталонном полигоне в республике Башкортостан. В результате обработки спутниковых наблюдений было получено 66 значений погрешностей компонент базовых линий по осям абсцисс, ординат и аппликат. Эти же значения были получены по предложенным формулам.

Результаты апробации формул (2)–(4) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты апробации эмпирических формул для определения погрешностей компонент базовых линий

Оси координат	Количество абсолютных погрешностей, превышающих рассчитанное значение	
	количество	в процентах
абсцисс	1	2
ординат	2	3
аппликат	6	9

Результаты апробации формул свидетельствуют о том, что полученные абсолютные погрешности не превышают предельные значения более чем в 10 % случаев от общего числа измерений. Это говорит о том, что формулы предвычисления точности получения компонент базовой линии успешно прошли апробацию на производственном эталонном полигоне и могут быть использованы при проведении топографо-геодезических работ с использованием двухчастотной спутниковой аппаратуры GPS.

Второй этап исследований заключался в определении зависимости точности плановых координат точки от длины пространственного GPS-вектора на примере использования системы координат СК-42.

С 1 июля 2002 г. на территории РФ установлена единая государственная система геодезических координат 1995 г. (СК-95). Правительство РФ постановлением № 568 от 28 июля 2000 г. поручило Роскартографии выполнить организационно-технические мероприятия, необходимые для перехода к использованию системы координат 1995 г. Пока большинство существующих геодезиче-

ских материалов и топосъемок еще связаны с СК-42, при осуществлении геодезических и картографических работ необходимо использовать единую систему геодезических координат 1942 г.

Перед началом полевых геодезических работ с использованием средств спутникового позиционирования рекомендуется проверить качество ГГС в пределах района работ, произведя синхронные наблюдения на пунктах опорной сети.

Нами было проведено исследование в 10 районах РФ с использованием спутниковых приемников GPS, направленное на выявление искажений на различных участках ГГС. В каждом районе не менее чем по пяти пунктам ГГС выполнялась калибровка, которая включает в себя определение погрешностей взаимного положения пунктов ГГС в плановом и высотном отношении, а также уточнение параметров преобразования систем координат, задаваемых значениями, полученными из спутниковых наблюдений и взятыми из каталогов в системе координат СК-42. После этого относительным методом спутникового позиционирования по координатам базовой станции были получены координаты не менее чем четырех контрольных пунктов, не использованных при выполнении калибровки. Координаты таких пунктов определялись с использованием параметров калибровки и без них.

По результатам проведенных исследований был сделан вывод о том, что при топографической съемке местности с применением спутниковых приемников неточность параметров преобразования систем координат СК-42 – WGS-84, а также искажения СК-42 ведут к погрешностям планового положения определяемой точки, получаемой относительным методом спутниковой геодезии.

Нами было проведено 86 спутниковых наблюдений на пунктах ГГС от базовых станций. При этом было проведено. Пункты ГГС принадлежали сетям различных классов точности. При обработке каждого спутникового наблюдения, по координатам базовой станции в системе координат СК-42 были получены координаты контрольного пункта ГГС. Полученные таким образом плановые координаты контрольных пунктов сравнивались с координатами из каталогов.

По разностям координат контрольных пунктов были получены средние квадратические погрешности определения плановых координат пунктов ГГС в зависимости от расстояния до базовой станции.

В результате проведенных исследований установлено, что:

- минимальное значение среднего квадратического отклонения определения плановых координат точек в системе координат СК-42 относительно исходной точки может составлять величину порядка 0,05 м при расстоянии 5 км и 0,70 м при расстоянии 70 км, что обусловлено погрешностями взаимного положения пунктов ГГС;

- при уравнивании результатов спутниковых измерений с использованием параметров калибровки удаление от базы определяемых точек не влияет на распределение погрешностей определяемых плановых координат.

С целью более детального изучения искажений СК-42 и распределения погрешности планового положения определяемой точки на территории нескольких районов Омской области была создана с помощью спутниковых наблюдений сеть, опирающаяся на пункты ГГС 1-го и 2-го классов.

Исследования были проведены с целью разработки методики учета погрешностей исходных данных применяемой системы координат на территории, ограниченной полученной спутниковой геодезической сетью.

В исследуемой спутниковой сети координаты базовой станции были определены от ближайших пунктов ГГС первого и второго класса. Погрешности определяемых координат базовой станции составили 0,04 м по оси абсцисс и 0,03 м по оси ординат.

Исходя из точностных характеристик двухчастотного спутникового оборудования, можно сказать, что точность определения плановых координат точки на расстоянии 45 км от базовой станции будет составлять 5 см, а на расстоянии 95 км – 10 см.

По координатам базовой станции и спутниковым наблюдениям на 15 пунктах ГГС были получены их координаты. При этом были использованы известные параметры преобразования систем координат WGS-84 – СК-42. По расхождениям координат пунктов ГГС, полученных таким образом, с координатами из каталогов была построена модель погрешностей планового положения определяемых точек, представленная на рисунке 2.

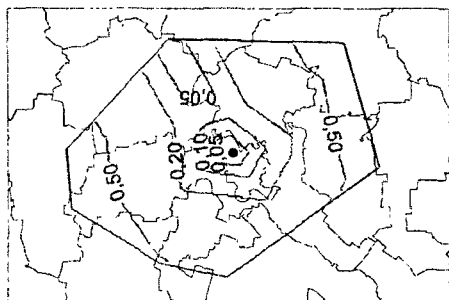


Рисунок 2 – Модель оценки ожидаемой точности получения координат определяемой точки от базовой станции в системе координат СК-42

На точность определения плановых координат при спутниковом позиционировании относительным методом оказывают влияние точность определения параметров преобразования спутниковой и местной систем координат и искажения местной системы координат (СК-42).

Учет погрешностей планового положения определяемой точки может быть выполнен путем калибровки. Однако, на обширной территории этот способ мало эффективен, так как использует усредненные параметры преобразования систем координат

Судя по модели оценки ожидаемой точности, изображенной на рисунке 2, погрешность планового положения определяемых точек возрастает в зависимости от удаления от базовой станции. Это связано с погрешностями спутниковых измерений, локальными искажениями системы координат СК-42, а также неточными параметрами преобразования систем координат СК-42 и WGS-84. Ослабление влияния погрешностей исходных данных в данном случае может быть выполнено моделированием поверхности, изображенной на рисунке 2.

Описание данной поверхности было выполнено тремя степенными функциями: полиномом второй степени, полиномом третьей степени и поликвадратической функцией. Выбранные функции описываются известными уравнениями

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ix} &= a_1 \cdot x_i^2 + a_2 \cdot y_i^2 + a_3 \cdot x_i \cdot y_i + a_4 \cdot x_i + a_5 \cdot y_i + a_6 \\ \delta_{iy} &= b_1 \cdot x_i^2 + b_2 \cdot y_i^2 + b_3 \cdot x_i \cdot y_i + b_4 \cdot x_i + b_5 \cdot y_i + b_6 \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ix} &= a_1 \cdot x_i^3 + a_2 \cdot y_i^3 + a_3 \cdot x_i^2 \cdot y_i + a_4 \cdot x_i \cdot y_i^2 + \\ &+ a_5 \cdot x_i^2 + a_6 \cdot y_i^2 + a_7 \cdot x_i \cdot y_i + a_8 \cdot x_i + a_9 \cdot y_i + a_{10} \\ \delta_{iy} &= b_1 \cdot x_i^3 + b_2 \cdot y_i^3 + b_3 \cdot x_i^2 \cdot y_i + b_4 \cdot x_i \cdot y_i^2 + \\ &+ b_5 \cdot x_i^2 + b_6 \cdot y_i^2 + b_7 \cdot x_i \cdot y_i + b_8 \cdot x_i + b_9 \cdot y_i + b_{10} \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ix} &= \sum_{i=1}^n c_{ix} S_i \\ \delta_{iy} &= \sum_{i=1}^n c_{iy} S_i \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

где δ_{ix} , δ_{iy} – величины погрешности планового положения определяемой точки по осям абсцисс и ординат;

a_1, b_1, c_i – коэффициенты полиномов второй и третьей степени и поликвадратической функции;

x_i, y_i – плановые координаты определяемой точки;

$S_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$ – расстояния между текущей точкой и точками, по которым была построена модель;

n – количество точек модели.

Перед описанием поверхности каждой из функций, представленных формулами (7)–(9), было выполнено конформное преобразование двух плоских систем координат. При этом каждая система координат задавалась набором координат пунктов ГГС, взятых из каталогов и полученных при уравнивании спутниковых измерений от базовой станции. Преобразования выполнялись по известным формулам

$$\left. \begin{aligned} x'_i &= a \cdot y_i + b \cdot x_i + c_2 \\ y'_i &= b \cdot y_i - a \cdot x_i + c_1 \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

где x'_i, y'_i – искомые плоские координаты во второй системе координат;
 x_i, y_i – заданные плоские координаты в первой системе;
 a, b, c_1, c_2 – преобразующие коэффициенты.

Нахождение коэффициентов полиномов второй и третьей степени, а также поликвадратической функции осуществлялось по методу наименьших квадратов.

Оценка точности нахождения этих коэффициентов определяется средними квадратическими отклонениями по оси абсцисс и ординат, равными 0,163 и 0,140 м при нахождении коэффициентов полинома второй степени и 0,157, 0,127 м при нахождении коэффициентов полинома третьей степени.

Контроль интерполирования поправок к координатам определяемых пунктов был выполнен при помощи каждой из трех функций, коэффициенты которых были найдены. Для этого были выполнены контрольные измерения на пунктах ГГС от базовой станции спутниковым методом.

Полученные таким образом координаты были преобразованы по методу последовательного конформного преобразования и сглаживания остаточных невязок каждой из трех функций.

По результатам проведенного исследования можно сказать, что в нашем случае задачу ослабления влияния погрешностей исходных данных наиболее эффективно можно решать за счет последовательного применения конформного преобразования и последующего описания модели погрешностей определения плановых координат поликвадратической функцией. В этом случае средние квадратические отклонения плановых координат контрольных пунктов ГГС составили 0,04 и 0,06 м по оси абсцисс и ординат соответственно.

Таким образом, для ослабления влияния погрешностей исходных данных необходимо:

- определить координаты базовой станции от ближайших пунктов ГГС;
- от базовой станции осуществить спутниковые наблюдения на контрольных пунктах ГГС;

- по полученным координатам контрольных пунктов ГГС и координатам этих пунктов из каталогов выполнить последовательно конформное преобразование и вычисление коэффициентов поликватрической функции;

- выполнить преобразование плановых координат съёмочных точек, определенных спутниковыми наблюдениями от базовой станции по формулам (7), (8).

Необходимо отметить, что контрольные пункты ГГС должны быть расположены в наибольшем удалении от базовой станции и друг от друга. Также контрольные пункты ГГС должны быть равномерно расположены по границе объекта работ. По результатам спутниковых определений на контрольных пунктах ГГС могут быть найдены коэффициенты конформного преобразования и коэффициенты поликватрической функции. Избыточное количество контрольных пунктов позволяет выполнить оценку точности.

При использовании данного способа получения плановых координат определяемых точек спутниковым методом от базовой станции на территории нескольких районов Омской области, общей площадью 11 000 км², удалось получить точность, удовлетворяющую требованиям топографической съёмки масштаба 1 : 1 000.

По результатам исследования можно сделать вывод о том, что предложенная методика позволяет на обширных территориях в применяемой системе координат обеспечить плановыми координатами работы по межеванию, аэрофотосъёмке, топографической съёмке масштаба 1 : 1 000 и мельче.

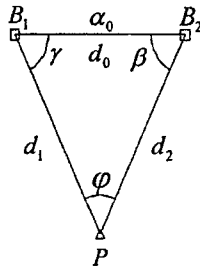
В третьем разделе разработан способ передачи координат центра пункта ГГС на вспомогательные точки. Проведены экспериментальные исследования данного способа. Разработан способ передачи координат пунктов реконструированной городской сети на стенные знаки с помощью спутниковых приемников.

Для приведения координат точек съёмочного обоснования, определяемых спутниковыми методами, к используемой на объекте системе координат необходимо производить спутниковые наблюдения на пунктах геодезических сетей. При этом наблюдения могут быть затруднены. Часто на пунктах установлены внешние геодезические знаки, пункт может находиться в неудобном для спутникового позиционирования месте (застроенная или залесенная местность). Вынос координат центра пункта на вспомогательные точки традиционными геодезическими методами в этом случае может быть затруднен, так как часто отсутствует прямая видимость на другой пункт. Поэтому решение вопроса по упрощению передачи координат пункта ГГС на вспомогательные пункты актуален.

Идея способа передачи координат центра пункта на вспомогательные точки с помощью спутниковых приемников состоит в том, что при относительном методе наблюдений параметры пространственного GPS-вектора определяются с миллиметровой точностью. По результатам проведенных нами исследований было определено, что в системе координат СК-42 величины средних квадратических отклонений для дирекционного угла и длины линии, вычисляемых при

обработке пространственного GPS-вектора, равны 2,8 угловых секунды и 5 мм соответственно. Поэтому длину такого вектора, а также его дирекционный угол можно принять за исходные данные и на основании их выполнять измерения.

Технология полевых геодезических измерений состоит в следующем. Вблизи центра пункта, в благоприятных для спутниковых наблюдений местах, устанавливаются два спутниковых приемника и выполняются одновременные спутниковые наблюдения. В это время над центром пунктов устанавливается электронный тахеометр и измеряются горизонтальный угол при центре пункта, а также расстояния до вспомогательных точек (рисунок 3).



□ – вспомогательные точки

△ – пункт ГГС

α_0 – дирекционный угол линии B_1B_2

d_0 – длина линии B_1B_2

d_1, d_2 – расстояния от пункта ГГС до вспомогательных точек

γ, β – вычисляемые углы треугольника

Рисунок 3 – Схема передачи координат центра пункта ГГС на вспомогательные точки

Достоинство данной методики состоит в том, что передача координат центра геодезического пункта происходит одновременно со спутниковыми измерениями, предназначенными для получения координат определяемой точки (базовой станции). При этом необходимо соблюдать оптимальные условия засечки. Угол при пункте ГГС должен быть близким к 90 градусам, стороны d_1 и d_2 примерно равные.

Наряду с определением плановых координат вспомогательных точек может быть выполнено определение их высот с помощью тригонометрического нивелирования по измерениям вертикального угла при пункте ГГС.

Обработка полученных измерений ведется следующим образом. Из спутниковых измерений можно получить длину и дирекционный угол линии. По этим данным, а также по результатам измерения тахеометром решается треугольник PB_1B_2 и вычисляется угол при пункте для контроля. По дирекционно-

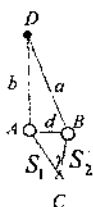
му углу, длинам линий и координатам пункта ГГС можно получить координаты вспомогательных точек по формулам

$$\left. \begin{aligned} X_{B1} &= X_P + d_1 \cdot \cos(\alpha_0 + \gamma \pm 180^\circ) \\ Y_{B1} &= Y_P + d_1 \cdot \sin(\alpha_0 + \gamma \pm 180^\circ) \\ X_{B2} &= X_P + d_2 \cdot \cos(\alpha_0 - \beta) \\ Y_{B2} &= Y_P + d_2 \cdot \sin(\alpha_0 - \beta) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Практические исследования разработанного способа проводились на пунктах ГГС, лишенных внешних геодезических знаков и расположенных в благоприятных для спутниковых наблюдений местах. Координаты вспомогательных точек определялись по методике, описанной выше, а также по спутниковым определениям от третьего приемника, устанавливаемого непосредственно на пункте ГГС во время работы приемников на вспомогательных точках. Максимальные расхождения в координатах определяемых точек, полученных двумя способами, не превысили 7 мм.

Обследование пунктов ГГС и привязка к ним производится одновременно. То есть вынос координат центра пункта на вспомогательные точки осуществляется одновременно с работающей базовой станцией. Поэтому разработанный способ можно усовершенствовать и проводить одним роверным спутниковым приемником. Для осуществления этой методики может быть использован как электронный тахеометр, так и обычная или электронная рулетка.

Спутниковые наблюдения на выносных точках производятся последовательно одним приемником. Расстояния от центра пункта ГГС можно измерить электронным тахеометром или лазерной рулеткой. Если используется электронный тахеометр, угол при пункте измеряется для контроля (рисунок 4).



- — определяемая базовая станция
- — вспомогательные точки при пункте ГГС
- — пункт ГГС
- γ — угол, измеряемый при пункте ГГС
- S_1, S_2 — расстояния от пункта ГГС до вспомогательных точек
- d — расстояние между выносными точками
- a, b — векторы от базовой станции до вспомогательных точек

Рисунок 4 – Схема передачи координат центра пункта ГГС на вспомогательные точки по усовершенствованной методике

Элементы вектора между выносными точками вычисляются по элементам векторов между базовой станцией и каждой из выносных точек. По этим данным, а также по наземным измерениям вычисляются координаты выносных точек, как и в первом случае:

$$\left. \begin{aligned} X_A &= X_C + S_1 \cdot \cos \alpha_{CA} \\ X_B &= X_C + S_2 \cdot \cos \alpha_{CB} \\ Y_A &= Y_C + S_1 \cdot \sin \alpha_{CA} \\ Y_B &= Y_C + S_2 \cdot \sin \alpha_{CB} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

При использовании усовершенствованной методики необходимо следить за тем, чтобы вспомогательные точки не находились в створе линии, проходящей через пункт ГГС и базовую станцию. Как и в предыдущей методике, возможно определение высот вспомогательных точек из тригонометрического нивелирования.

Апробация усовершенствованной методики проводилась на пункте ГГС, на котором был установлен металлический сигнал. При этом использовались спутниковые наблюдения базовой станции, координаты которой были определены ранее в системе координат СК-42. Точность плановых координат базовой станции составляет 0,041 м по оси абсцисс и 0,031 м по оси ординат.

Технология полевых работ была следующая. На расстоянии 40 м от пункта ГГС была закреплена первая вспомогательная точка. Эта точка находилась в створе линии, проходящей через пункт ГГС и базовую станцию. Примерно через 30 градусов от нее были закреплены еще 10 точек. Таким образом, были получены тахеометрические измерения на 11 вспомогательных точках от пункта ГГС. Спутниковые измерения проводились четырьмя двухчастотными приемниками, которые устанавливались одновременно. Измерения горизонтальных проложений и углов при пункте ГГС производились электронным тахеометром. Время спутниковых измерений составило 1 час на каждой выносной точке.

Обработка полученных результатов велась следующим образом. Были получены точные значения координат вспомогательных точек по координатам базовой станции. Из треугольника ABD по пространственным параметрам векторов AD и BD были вычислены дирекционные углы линий AB (для 40 вариантов). Эти же дирекционные углы были получены по точным координатам выносных точек. Затем дирекционные углы сравнивались. Из различных вариантов линейных и линейно-угловых засечек вычислялись координаты выносных точек, затем они сравнивались с точными значениями.

После обработки полевых данных была получена средняя погрешность определения плановых координат вспомогательных точек, которая составила

0,068 м из решения линейной засечки и 0,059 из решения линейно-угловой засечки. В большей степени эта погрешность обусловлена влиянием погрешности плановых координат базовой станции.

По использованию обеих методик можно дать следующие рекомендации. Для передачи координат пункта ГГС на вспомогательные точки можно использовать любую из предложенных методик. Для контроля необходимо измерять угол при пункте. При использовании любой из предложенных методик необходимо соблюдать оптимальные условия геодезических засечек.

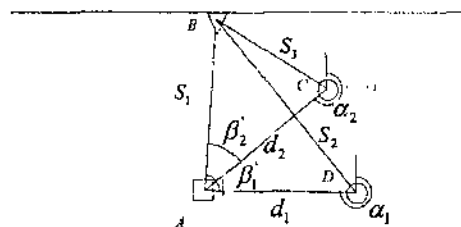
Технология передачи координат одной точки на вспомогательные точки может быть применена при реконструкции городских геодезических сетей. В целях сохранности пунктов реконструированных городских сетей координаты их следует передавать на стенные знаки. Эта технология так же может быть реализована как с применением электронного тахеометра, так и без него. При этом расстояния могут быть измерены электронной рулеткой. Передача координат пункта городской сети на центр стенного знака без использования электронного тахеометра проиллюстрирована рисунком 5 и соответствующими формулами.

$$\left. \begin{aligned} X_B &= X_A + S_1 \cdot \cos(\alpha_1 \pm 180^\circ - \beta'_1) \\ Y_B &= Y_A + S_1 \cdot \sin(\alpha_1 \pm 180^\circ - \beta'_1) \\ \beta'_1 &= \arccos\left(\frac{S_1^2 + d_1^2 - S_2^2}{2 \cdot S_1 \cdot d_1}\right) \end{aligned} \right\} \cdot \quad (11)$$

Контроль вычислений выполняется по формулам

$$\left. \begin{aligned} X_B &= X_A + S_1 \cdot \cos(\alpha_2 \pm 180^\circ - \beta'_2) \\ Y_B &= Y_A + S_1 \cdot \sin(\alpha_2 \pm 180^\circ - \beta'_2) \\ \beta'_2 &= \arccos\left(\frac{S_1^2 + d_2^2 - S_2^2}{2 \cdot S_1 \cdot d_2}\right) \end{aligned} \right\} \cdot \quad (12)$$

Технология совместного использования спутниковых навигационных систем и электронного тахеометра при геодезической привязке к системам стенных знаков была апробирована на производстве. При этом угловые погрешности ходов съёмочного обоснования между системами стенных знаков не превышали допустимых значений, характерных для полигонометрии 1-го разряда. По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что данная технология может быть использована при реконструкции городских геодезических сетей.



- | | |
|--|--|
| ∇ – центр настенного репера | d_1, d_2 – расстояния, получаемые из спутниковых наблюдений |
| \square – рабочий центр городской полигонометрии | α_1, α_2 – дирекционные углы линий, получаемые из спутниковых наблюдений |
| \circ – вспомогательная точка | |
| S_1, S_2, S_3 – измеряемые расстояния | β_1, β_2 – вычисляемые углы треугольников |

Рисунок 5 – Схема передачи координат пункта городской сети на центр стенного знака

В заключении отмечено, что в диссертации изложены научно обоснованные технологические разработки, имеющие существенное значение при производстве земельно-кадастровых работ.

Основные выводы.

1. Установлена зависимость между продолжительностью сеанса спутниковых наблюдений, расстоянием между синхронно работающими спутниковыми приемниками и точностью получения параметров пространственного GPS-вектора. Усовершенствована методика оценки точности положения определяемой точки в зависимости от времени спутниковых наблюдений и длины пространственного GPS-вектора.

2. Выполнен анализ влияния удаления определяемой точки от точки с известными координатами на точность получения плановых координат в системе координат СК-42.

3. Выполнен анализ точности получения плановых координат определяемой точки относительным методом спутниковой геодезии в системе координат СК-42 в спутниковой геодезической сети г. Омска.

4. Построена модель погрешностей планового положения определяемой точки на территории г. Омска и за его пределами, покрывающая площадь 11 000 км².

5. Разработана методика ослабления влияния погрешностей исходных данных при определении плановых координат точек от базовой станции за счет последовательного применения конформного преобразования и последующего

описания модели погрешностей определения плановых координат с помощью поликвадратической функции на территории г. Омска и за его пределами. Среднее квадратическое отклонение плановых координат контрольных пунктов при использовании данного способа составило 0,04 и 0,06 м по оси абсцисс и ординат соответственно. Предложенная методика позволяет на обширных территориях в применяемой системе координат обеспечить плановыми координатами работы по межеванию, аэрофотосъемке, топографической съемке масштаба 1 : 1 000 и мельче.

6. Разработан новый способ передачи координат центра пункта ГГС на вспомогательные точки с помощью спутниковых приемников. Определены оптимальные условия геодезических измерений при передаче координат центра пункта ГГС на вспомогательные точки с помощью спутниковых приемников.

7. Разработаны рекомендации по применению спутниковых приемников при передаче координат пункта городской сети на центр стенного знака. Предложена технология совместного использования спутниковых навигационных систем при геодезической привязке к системе стеновых знаков, которая может быть использована при реконструкции городских геодезических сетей.

8. Результаты диссертационных исследований внедрены в учебный процесс кафедры высшей геодезии, фотограмметрии и ГИС ФГОУ ВПО «ОмГАУ», используются для решения производственных задач в Западно-Сибирском филиале ФГУП «Госземкадастрсъемка» – ВИСХАГИ, ООО «Сибирский Научно-Производственный центр Кадастровых Технологий», Омском филиале Федерального государственного унитарного предприятия «Федеральный Кадастровый Центр «Земля», ООО «ГЕБ». Факты использования результатов диссертационных исследований подтверждены соответствующими актами.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Войтенко, А.В. О точности передачи координат пунктов ГГС на вспомогательные точки с помощью спутниковых приемников / А.В. Войтенко, М.С. Куприянов, А.В. Виноградов // Геодезия и картография. – 2005. – № 5. – С. 13–15.

2. Войтенко, А.В. Совместное применение спутниковых приемников и электронных тахеометров при создании планового обоснования на застроенной территории / А.В. Войтенко, М.С. Куприянов, А.В. Виноградов // Геодезия и картография. – 2007. – № 7. – С. 33–36.

3. Свидетельство на интеллектуальный продукт «Методика передачи координат пунктов государственной геодезической сети на вспомогательные пункты с помощью спутниковых приемников» / А.В. Войтенко, М.С. Куприянов, А.В. Виноградов. – Дата регистрации 25.03.05, № 73200500057.

4. Войтенко, А.В. Анализ и обоснование точности технологии передачи координат пунктов ГГС на вспомогательные точки при помощи современного применения спутниковых приемников и электронного тахеометра / А.В. Войтенко // Землеустроительные, кадастровые, геодезические работы для обеспечения стабильности и эффективности развития экономики России: материалы Междунар. науч.-практ. конф. ученых и специалистов «Землеустроит. и кадастровое обеспечение функционирования земельно-имущественного комплекса». – Омск, 2005. – С. 173–176.

5. Бикашев, И.Р. Основы космической геодезии: учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности 300100 – «Прикладная геодезия» / И.Р. Бикашев, А.В. Виноградов, А.В. Войтенко. – Омск: ФГОУ ВПО «ОмГАУ», 2007. – 68 с.

6. Войтенко, А.В. Исследование точности GPS-определения координат отдельных пунктов геодезического обоснования при кадастровой съемке / А.В. Войтенко, А.И. Уваров // Объекты недвижимости: управление, использование, ведение и инженерно-геодезическое обеспечение кадастра: материалы Междунар. науч.-производств. конф. – Омск, 2007. – Ч. 2. – С. 257–261.

7. Войтенко, А.В. Производственный опыт совместного применения электронного тахеометра и спутниковых GPS-приемников для передачи координат пунктов ГГС на вспомогательные пункты / А.В. Войтенко, М.С. Куприянов, А.А. Макаров // Сб. материалов науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2005», 25–29 апр. 2005 г., Новосибирск, т. 1. – Новосибирск: СГГА, 2005. – С. 162–165.

8. Войтенко, А.В. Совершенствование технологий создания геодезического обоснования при ведении кадастровых съемок / А.В. Войтенко // Объекты недвижимости: управление, использование, ведение и инженерно-геодезическое обеспечение кадастра: материалы Междунар. науч.-производств. конф. – Омск, 2007. Ч. 2. – С. 269–273.