

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

к выполнению практических работ и курсового проекта
для студентов направления 21.04.03 «Геодезия и дистанционное
зондирование»
(профиль «Геодезия») всех форм обучения

Воронеж 2022

Оглавление

Введение	3
1. Создание проекта опорной (съёмочной) геодезической сети	4
2. Подготовка ГНСС оборудования к полевым измерения	11
3. Статические (быстростатические) ГНСС измерения на выбранных пунктах опорной сети	12
4. Предварительная обработка ГНСС измерений и оценка их качества	14
5. Окончательная обработка ГНСС измерений и уравнивание опорной геодезической	15
сети	15
Заключение	17
Список литературы	21

Приложение 1

.....
.... **21**

Приложение 2

..... **26**

Введение

Целью данной работы является проведение комплекса практических и вычислительных работ с целью изучения технологии создания опорных и съемочных геодезических сетей с использованием глобальных навигационных спутниковых систем. Для достижения этой цели группе студентов (бригаде) необходимо последовательно решить ряд задач. Это:

1. Создание проекта опорной (съемочной) геодезической сети
2. Подготовка ГНСС оборудования к полевым измерениям
3. Статические ГНСС измерения на выбранных пунктах опорной сети
4. Предварительная обработка ГНСС измерений и оценка их качества
5. Окончательная обработка ГНСС измерений и уравнивание опорной геодезической сети

Результаты выполнения работы должны быть оформлены каждой бригадой студентов (3-4 человека) в виде печатного отчета и представлены преподавателю для оценки.

1. Создание проекта опорной (съёмочной) геодезической сети

Создание опорных (съёмочных) геодезических сетей является одним из основных видов геодезических работ проводимых с целью получения каталогов высокоточных геодезических координат пунктов с оценкой их точности. Каталоги координат пунктов требуются при проведении практических всех видов топо-геодезических съёмочных работ, привязке материалов аэрофотосъёмки и многих других геодезических и изыскательских работах. Первым этапом создания таких сетей является их проектирование. Основные цели проектирования сети:

- Соответствовать требованиям съёмки
- Оптимизировать проведение полевых работ
- Обеспечивать контроль данных, собранных в поле
- Выдавать достоверные результаты

Основные принципы и советы проектирования геодезических сетей:

- I. Найдите достаточное число опорных пунктов в области проекта
- II. Используйте в сети хорошую геометрию
- III. Используйте независимые базовые линии
- IV. Обеспечьте в сети избыточность
- V. Имейте 2 независимых наблюдения (сеанса) для каждой станции
- VI. Используйте станции с хорошей видимостью ИСЗ и низкой многолучевостью

Рассмотрим подробнее эти принципы и советы.

- I. Достаточное число опорных пунктов в области проекта

Согласно пункта **6.2.4** «Инструкции по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS» [1], «В качестве исходных пунктов, от которых развивается съёмочное обоснование (далее – исходных пунктов) следует использовать все пункты геодезической основы, находящиеся в пределах объекта и ближайшие к объекту за его пределами, но не менее 4 пунктов с известными плановыми координатами и не менее 5 пунктов с

известными высотами, так чтобы обеспечить приведение съёмочного обоснования в систему координат и высот пунктов геодезической основы». Однако, с теоретической точки зрения достаточно иметь не менее 3 пунктов с известными плановыми координатами и не менее 4 пунктов с известными высотами (рис.1).



Рис. 1. Расположение на объекте опорных пунктов (треугольник – плановый пункт, квадрат – высотный).

II. Сети с хорошей геометрией

В отличие от метода триангуляции, опорные сети построенные с помощью методов ГНСС менее чувствительны к геометрии опорной сети, однако и в этом случае требуется стремиться к построению опорных сетей с «хорошей» геометрией. «Хорошая» геометрия сети подразумевает как разумное сочетание привязки новых и опорных пунктов, так и наличие достаточного числа узловых точек и избыточных измерений (рис. 2). При построении опорных сетей с малым числом узловых точек и (или) малым числом связей опорных и определяемых точек геометрия сети может стать «плохой» (рис. 3). В представленном примере, очевидно, что наличие всего одной узловой точки может привести к существенным деформациям и ошибкам в сети при наличии грубых измерительных ошибок на этой точке. Дополнительные измерения между опорными пунктами необходимы для контроля качества самой опорной сети.



Рис. 2. Пример съемочной сети с «хорошей» геометрией



Рис. 3. Пример съемочной сети с «плохой» геометрией

III. Использование независимых базовых линий

При проектировании развития съёмочного обоснования методом построения сети программа полевых работ на объекте должна быть составлена так, чтобы все линии сети были определены независимо друг от друга, включая линии, опирающиеся на пункты геодезической основы. При этом необходимо запроектировать определение линий от каждого вновь определяемого пункта съёмочного обоснования не менее чем до 3 пунктов. Пример схемы развития съёмочного обоснования методом построения сети приведен на рис. 2.

В случае проектирования применения 2-х приёмников для наблюдений спутников выполнение приведенных выше указания не вызывает затруднений. Однако, если на объекте планируют использование более 2-х приёмников, и проектируют ведение работ сеансами, включающими наблюдения на 3-х и более пунктах, то при составлении программы полевых работ необходимо намечать для каждого сеанса в качестве независимо определяемых линий такие линии, ломаная из соединения которых не пересекает сама себя в точках соединения линий и не замыкается. Примеры проектирования сетей состоящих из независимых векторов при одновременном использовании разного количества ГНСС приемников представлены на рис. 4.

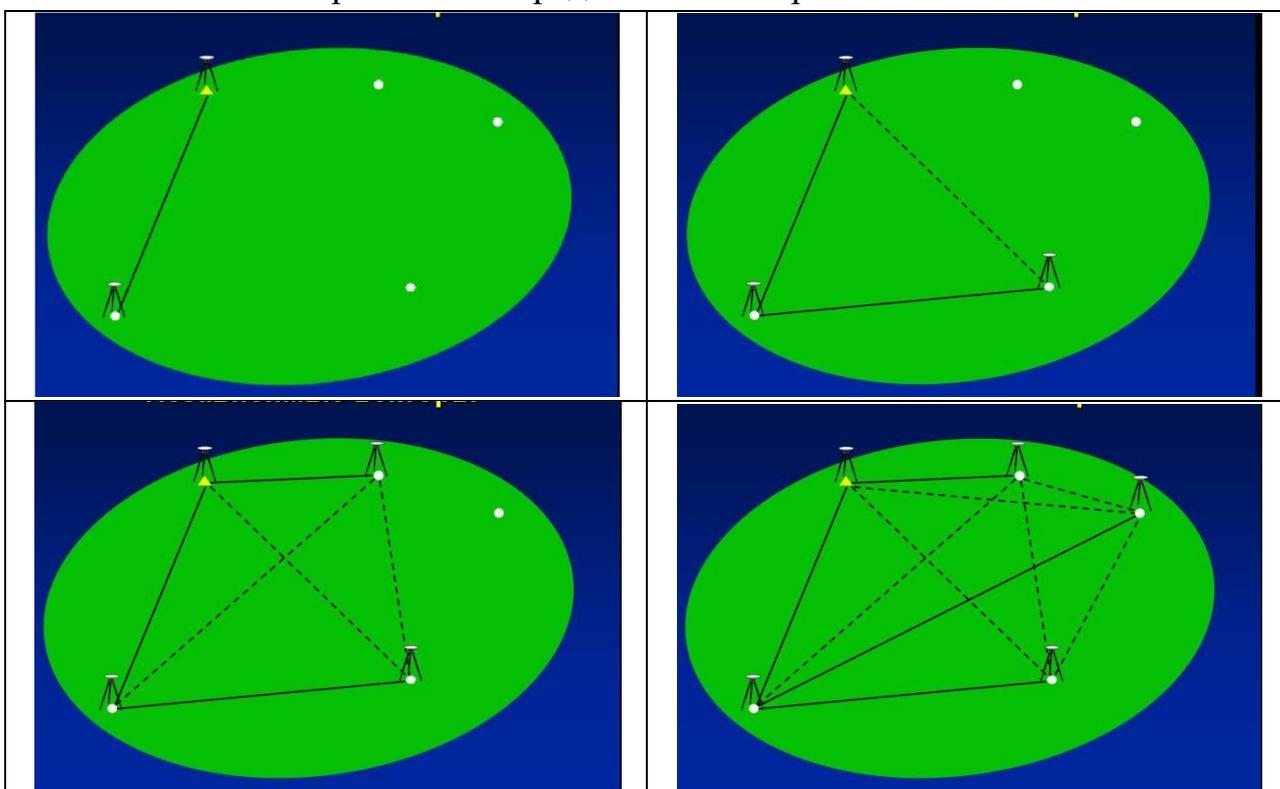


Рис. 4. Примеры проектирования «независимых» векторов для вариантов использования 2-х, 3-х, 4-х и 5-ти приемников

Из представленных на рис. 4 схем можно легко вывести общую формулу подсчета как общего числа векторов, так и подсчета независимых векторов. Если общее количество используемых приемников равно N , то:

$$\text{Общее количество векторов} = N(N - 1) / 2$$

$$\text{Количество независимых векторов} = N - 1$$

IV. Обеспечение в сети избыточности

Избыточность при построении съемочной ГНСС сети обеспечивается двумя методами:

- Повторные базовые линии
- Дополнительные базовые линии (сверх минимально необходимых)

Хороший пример опорной сети с достаточным числом избыточных измерений представлен на рис. 5.

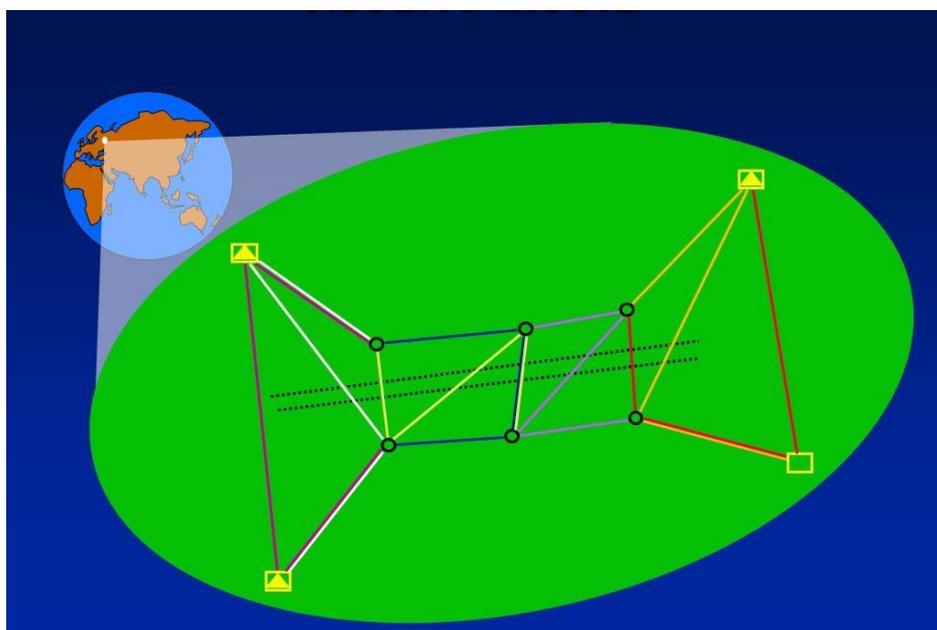


Рис. 5. Пример сети с достаточным числом избыточных измерений



Рис. 6. Пример сети с тремя избыточными векторами разного типа

v. 2 независимых наблюдения (сеанса) для каждой станции

При проведении ГНСС измерений на пунктах сети следует проводить как минимум два сеанса измерений на каждой станции. Между сеансами следует заново провести центрирование антенны ГНСС приемника над пунктом и провести повторное измерение высоты антенны над пунктом (рис. 7). Данная процедура позволит избежать грубых и систематических ошибок при построении опорной сети, и повысит достоверность конечных результатов. Образцы журналов ГНСС измерений приведены в приложении 1.

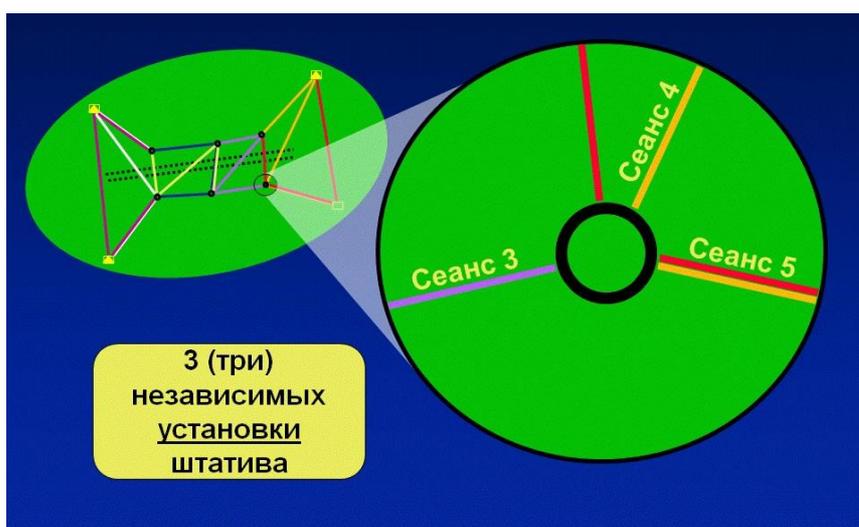


Рис. 7. Пример пунктов с несколькими независимыми сеансами измерений

VI. Использование станций с хорошей видимостью ИСЗ и низкой многолучевостью

Для достижения качественного итогового результата желательно проводить ГНСС измерения на пунктах имеющих минимальное количество препятствий для распространения ГНСС сигналов, а так же избегать присутствия источников многолучевости вблизи пунктов (металлические поверхности, стены зданий, радиомачты, деревья и др.) (рис. 8). Если возможность выбора места измерений отсутствует (пункт заложен давно, до эпохи ГНСС измерений), рекомендуется провести тщательное планирование измерений и при необходимости увеличить их продолжительность [3, 5].

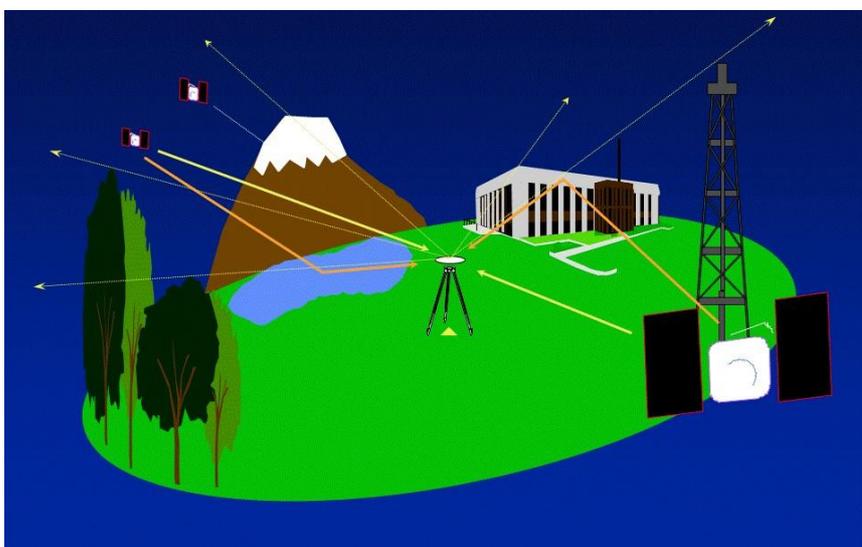


Рис. 8. Препятствия и источники многолучевости (многопутности) при проведении ГНСС измерений

Таким образом, качественный проект опорной геодезической сети должен создаваться из следующих рекомендаций и требований:

- Хороший проект сети начинается с правильного планирования
- Для объекта может существовать несколько приемлемых проектов сети
- Проект сети должен соответствовать требованиям к съемке
- Качественный проект сети повышает надежность результатов

2. Подготовка ГНСС оборудования к полевым измерениям

Комплект спутникового геодезического оборудования необходимый для проведения статических измерений включает следующие основные компоненты (рис. 9):

- ГНСС приемник со встроенным модулем памяти, световыми индикаторами и батареей питания
- ГНСС антенна с кабелем и мерной вехой
- Штатив с трегером и адаптером

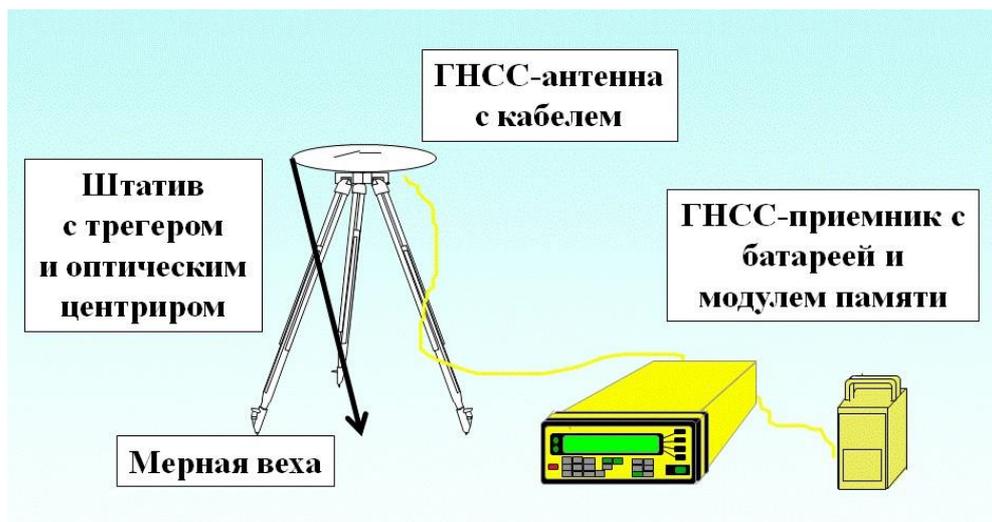


Рис. 9. Состав комплекта ГНСС оборудования для проведения статических измерений

Перед началом полевых геодезических измерений требуется провести следующие операции с комплектом ГНСС оборудования:

- Проверить модуль памяти приемника на наличие свободного места для записи измерений
- Проверка настроек приемника (интервал записи данных, маска измерений, тип антенны и др.)
- Проверка кабеля антенны на отсутствие обрывов и скручивание
- Проверка уровня зарядки батареи питания ГНСС приемника
- Проверка штатива и трегера на устойчивость и работоспособность
- Проверка наличия измерительной вехи (рулетки) и журнала ГНСС измерений

Некачественная подготовка комплекта ГНСС оборудования может привести срыву всего сеанса измерений и дополнительным транспортным и финансовым расходам.

3. Статические (быстростатические) ГНСС измерения на выбранных пунктах опорной сети

Статический и быстростатический методы ГНСС съемок используются для обеспечения наивысшей точности. Необходимые условия для проведения статических (быстростатических) ГНСС измерений включают в себя (рис. 10):

- Необходимо как минимум два приемника
- Приемники должны иметь возможность проводить измерения не только по C/A коду, но и по фазе несущей
- На каждой станции необходимо отслеживать одновременно, по крайней мере, 4 НИСЗ
- Измерения должны проводиться в единый момент времени - эпохи (иметь общий интервал измерений)
- Некоторые пункты съемки (по крайней мере один), должны иметь известные координаты в необходимой системе координат и высот



Рис. 10. Минимальные требования для проведения статических ГНСС измерений

Продолжительность ГНСС наблюдений зависит от:

- типа приемника
- длины базовой линии

- геометрии спутников
- наличия многолучевости

Ориентировочные параметры статических (быстростатических) ГНСС измерений приведены на рис. 11.

Статические съёмки		
	ОДНОЧАСТОТНЫЕ	ДВУХЧАСТОТНЫЕ
ПРИЕМНИКИ :	Trimble R3	Trimble R5, R7 Trimble R8, R10
ТОЧНОСТЬ: (план)	5 мм + 0.5 мм/км	3 мм + 0.1 мм/км
(высота)	5 мм + 1 мм/км	3.5мм + 0.4 мм/км
ПЕРИОД НАБЛЮДЕНИЙ :	Зависит от длины базовой линии, обычно 45 минут (для быстростатических обычно 8-15 минут)	
ПРИМЕНЕНИЕ :	Создание опорных сетей; Високоточные съёмки	

Рис. 11. Основные параметры статических ГНСС съёмок

В сеансе для осуществления приёма на каждом пункте необходимо выполнить следующие операции, придерживаясь рекомендаций перечисленных выше, и руководствуясь эксплуатационной документацией применяемого типа приёмника:

1. Провести развёртывание аппаратуры, установить приёмник на пункте и определить высоту антенны.
2. Подготовить приёмник к работе, как указано в эксплуатационной документации.
3. Установить режим регистрации данных наблюдения спутников.
4. Пользуясь клавиатурой, ввести в запоминающее устройство: значение номера пункта, значение высоты антенны и вспомогательную информацию: время начала и конца приёма, потерь связи и др.
5. Провести приём наблюдений спутников в течение времени, указанного в рабочей программе полевых работ для применяемого метода спутниковых определений.
6. Выключить режим регистрации данных и выполнить свёртывание аппаратуры.

4. Предварительная обработка ГНСС измерений и оценка их качества

После проведения ГНСС измерений требуется скачать данные из приемников и провести их предварительную обработку, до возвращения в камеральные условия. Задача предварительной обработки – оценить качество полученных измерений и их пригодность для дальнейших вычислений координат пунктов опорной (съёмочной) сети. При обнаружении некачественных измерений требуется провести повторные измерения на неудачных пунктах. Для скачки данных можно воспользоваться утилитой Trimble Data Transfer (<http://www.trimble.com/datatransfer.shtml>) или без ключевым вариантом ПО Trimble Business Center (http://www.trimble.com/survey/trimble-business-center_support.aspx). В результате обработки модулем фазового процессора ПО Trimble Business Center мы получаем компоненты базового вектора (рис. 12).



Рис. 12 Измеряемые и вычисляемые параметры базовых линий

Для правильной редукции измеряемого вектора к центрам геодезических пунктов следует тщательно вводить высоту и тип антенны ГНСС приемников участвовавших в измерениях. Критерием получения высокоточных результатов являются:

- Для вычисления векторов используются измерения по фазе несущей
- Только *разрешение неоднозначностей* позволяет обеспечить сантиметровую точность с GPS
- Неоднозначность целых определяется путем обработки по разностям

- Фиксированное (fixed) решение означает, что неоднозначности были разрешены. Пример таблицы с качественными базовыми векторами приведен в приложении 2.

Если в ходе измерений из независимых базовых векторов получены замкнутые геометрические фигуры, следует вычислить сумму приращений пространственных координат в этих фигурах и получить абсолютные и относительные невязки. Результаты контроля не замыкания полигонов представляются в виде:

Сторон в полигоне:	3
Число контуров:	22
Число принятых контуров:	22
Число ошибочных контуров:	0

	Длина, м	$\Delta 3D$, м	Δ в плане, м	Δ по выс., м	РРМ
Критерии пригодности					1
Наилучший		0,001	0	0	0,034
Наихудший		0,013	0,013	0,01	0,586
Среднее по полигонам	35240,355	0,007	0,007	0,003	0,25
Стандартная ошибка	21725,489	0,008	0,007	0,004	0,132

Проверка соответствия полученных абсолютных и относительных невязок на допустимые согласно инструкции значения [1, 2] и позволяет провести предварительную оценку качества проведенных ГНСС измерений.

5. Окончательная обработка ГНСС измерений и уравнивание опорной геодезической сети

Уравнивание сетей выполняется с помощью модуля уравнивания в два этапа:

- Минимально ограниченное (свободное) уравнивание
- Полностью ограниченное (жесткое) уравнивание

Задача свободного уравнивания заключается:

- Проверить внутреннюю «согласованность» сети
- Выявить грубые или «отлетающие» наблюдения
- Обеспечить точную оценку ошибок

В результате из сети могут быть исключены избыточные измерения не соответствующие точностным характеристикам предъявляемых к опорной сети (рис. 13).

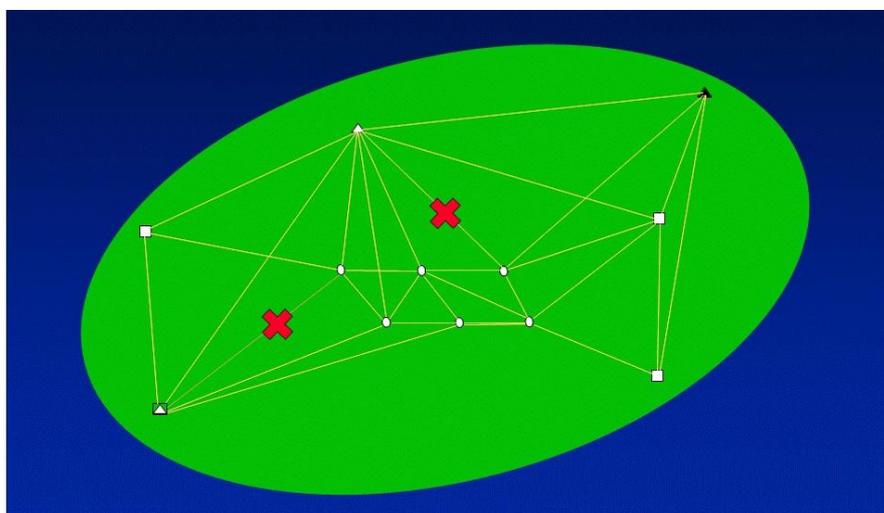


Рис. 13 Пример свободной сети с одной исходной точкой

После процедуры уравнивания свободной сети мы получаем оценку ее точности в виде эллипсов ошибок (рис. 14), а так же в табличном виде (табл. 1). Координаты свободного уравнивания следует использовать только для анализа внутренней точности сети. Их не следует распространять как окончательные результаты.

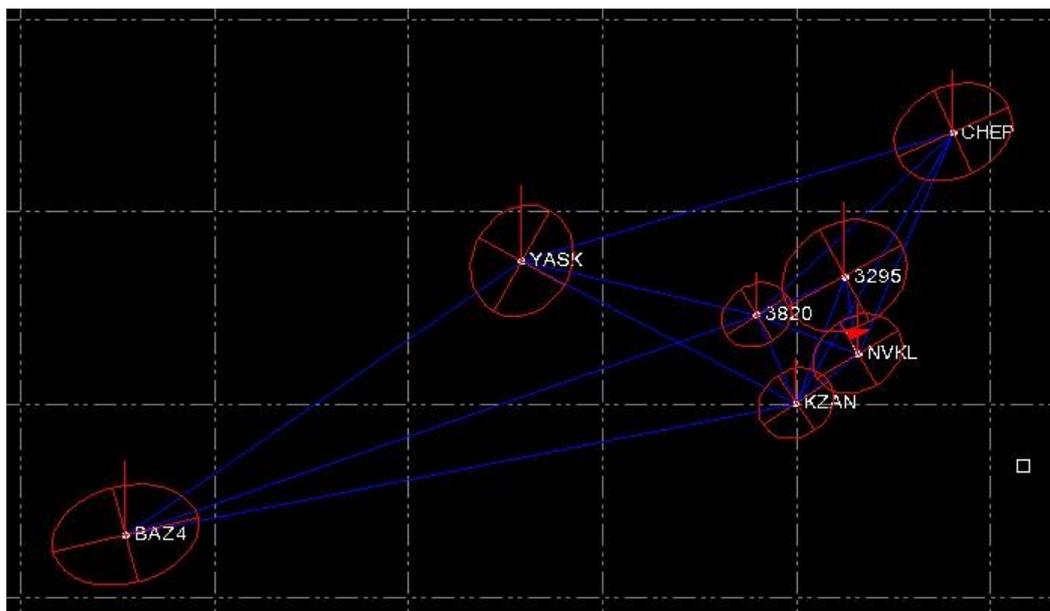


Рис. 14 Пример уравнивания свободной сети

Табл. 1 Уравненные координаты с оценкой точности

Имя точки	Восточное указание, м	Восточное указание Ошибка, м	Север X, м	Север X Ошибка, м
3295	2529,594	0,003	6592,181	0,003
3820	-2048,281	0,002	4606,538	0,001
BAZ4	-34629,594	0,004	-6829,000	0,003
CHEP	8107,215	0,003	14079,768	0,002
KZAN	-0,085	0,002	-0,527	0,002
NVKL	3213,135	0,002	2569,497	0,002
YASK	-14174,149	0,002	7406,104	0,002

Заключение

По итогам выполнения практической работы студенты должны иметь представление о процессе простейшего вида ГНСС определений – статических съемках, предназначенных для создания опорных геодезических сетей. Студенты должны провести предварительное планирование опорной сети и выбрать наиболее оптимальный вариант исходя из количества опорных и

определяемых точек, а так же из количества одновременно используемых при измерениях ГНСС приемников. Перед проведением полевых статических измерений необходимо подготовить комплекты ГНСС оборудования и убедиться в его работоспособности. После проведения измерений необходимо провести предварительную и окончательную обработку ГНСС измерений, оценить их качество и соответствие нормативным требованиям. Окончательным итогом работы является каталог координат опорных и определяемых пунктов с оценкой точности координат последних.

Задание на курсовой проект

Требования к оформлению смотреть в методических указаниях к курсовым работам, представленной на сайте вуза.

Тема: Проект создания геодезической сети космическими методами на территории.... (дописать свой район, в соответствии с заданием преподавателя)

Примерная структура и содержание проекта

Введение

1 Общие сведения об участке исследования

1.1 Физико-географическая характеристика

1.2 Топографо-геодезическая изученность

2. Геодезические системы координат

2.1 Пространственная прямоугольная система координат

2.2 Плоская прямоугольная система координат

2.3 Геоцентрическая система координат

2.4 Переход к местной системе координат

3. Проект создания геодезической сети

3.1 Типы спутниковых городских сетей

3.2 Принципы построения городской геодезической сети спутниковыми технологиями

3.3 Проект сети

3.4 Методика наблюдения на пунктах геодезической сети

3.5 Расчет необходимых параметров для проведения спутниковых наблюдений

Заключение

Список использованной литературы

Приложение 1 Участок работы

Приложение 2 Схема запроектированной сети

Приложения по зонам наблюдений

Список литературы:

1. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02 Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS, М., ЦНИИГАиК, 2002
2. ГКИНП (ОНТА)-01-271-03 Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS, М., ЦНИИГАиК, 2003
3. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Том. 1. М. Картгеоцентр 2005
4. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Том. 2. М. Картгеоцентр 2006
5. Загретдинов Р.В. Планирование спутниковых геодезических измерений, Учебно-методическое пособие, К., К(П)ФУ, 2013

Приложение 1 Журнал ГНСС измерений

КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
"КАФЕДРА АСТРОНОМИИ И КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ"

Журнал № _____ / _____
спутниковых геодезических измерений

на пунктах
.....
.....
.....

Исполнитель работ..... ФИО подпись

Начальник партии..... ФИО подпись

Нашедших просим вернуть журнал:
Индекс: 420008. Адрес: Город Казань,
Улица Кремлевская, дом 18.
Тел./факс: (843) 292-77-97, Факс: (843) 292-77-97,
E-mail: iz @ kpfu.ru.

Журнал ГНСС измерений (упрощенная форма):

Карточка спутниковых наблюдений на пункте

Название пункта в контроллере

№ **Р** **мм** **дт.** **ст.** Заполняется печатными буквами с учетом регистра и пробелов

I	Сессия №1		Сессия №2	
	Начало	Конец	Начало	Конец
Дата				
Время				
Высота антенны				
Высота пункта				
Номер антенны спутникового приемника	№		Пример заполнения № 092345	
Номер блока управления	№		№ 01965	
Тип памяти			Карточка 512К	
Количество и тип источника питания			2 - литиевых	

Элементы приведения к центру Чертеж I= _____ мм B= _____ на пункт	Дополнительная информация о ходе измерений: (помехи при наблюдениях) _____ _____ _____
--	--

Карточка спутниковых наблюдений на пункте

Название пункта в контроллере

№ **Р** **мм** **дт.** **ст.** Заполняется печатными буквами с учетом регистра и пробелов

I	Сессия №1		Сессия №2	
	Начало	Конец	Начало	Конец
Дата				
Время				
Высота антенны				
Высота пункта				
Номер антенны спутникового приемника	№		Пример заполнения № 092345	
Номер блока управления	№		№ 01965	
Тип памяти			Карточка 512К	
Количество и тип источника питания			2 - литиевых	

Элементы приведения к центру Чертеж I= _____ мм B= _____ на пункт	Дополнительная информация о ходе измерений: (помехи при наблюдениях) _____ _____ _____
--	--

Приложение 2. Пример таблицы обработанных векторов сети

Таблица векторов

Имя вектора	От точки	До точки	Тип решения	Состояние	Точность в плане (95%)	Точность по высоте (95%)	ΔX	ΔY	ΔZ	Длина вектора	Выс. ант. ОТ	Выс. ант. ДО
IPV7	3820	3295	Фиксированное	Включена	0,003	0,009	-4547,539	1730,423	1107,269	4990,041	1,957	2,057
IPV11	3820	BAZ4	Фиксированное	Включена	0,004	0,011	30856,052	-14073,987	-6493,303	34530,220	1,957	0,153
IPV10	3820	СНЕР	Фиксированное	Включена	0,003	0,01	-12796,485	682,900	5354,721	13888,463	1,957	2,336
IPV6	3820	KZAN	Фиксированное	Включена	0,002	0,007	963,395	4267,834	-2507,336	5042,744	1,957	2,042
IPV8	3820	NVKL	Фиксированное	Включена	0,003	0,008	-2869,063	4736,057	-1084,598	5642,527	1,957	1,591
IPV9	3820	YASK	Фиксированное	Включена	0,003	0,01	7711,862	-9633,801	1613,270	12445,304	1,957	1,892
IPV17	BAZ4	KZAN	Фиксированное	Включена	0,004	0,01	-29892,650	18341,827	3985,959	35297,039	0,153	1,854
IPV15	СНЕР	YASK	Фиксированное	Включена	0,003	0,009	20508,360	-10316,699	-3741,450	23259,956	2,136	1,947
IPV3	KZAN	3295	Фиксированное	Включена	0,003	0,01	-5510,943	-2537,410	3614,605	7062,174	2,251	1,936
IPV1	KZAN	3820	Фиксированное	Включена	0,002	0,007	-963,397	-4267,832	2507,335	5042,743	2,251	1,973
IPV5	KZAN	СНЕР	Фиксированное	Включена	0,004	0,009	-13759,887	-3584,939	7862,060	16248,023	2,251	2,221
IPV2	KZAN	NVKL	Фиксированное	Включена	0,002	0,006	-3832,462	468,222	1422,738	4114,751	2,251	1,608
IPV4	KZAN	YASK	Фиксированное	Включена	0,003	0,013	6748,464	-13901,644	4120,606	15993,025	2,251	2,036
IPV12	NVKL	3295	Фиксированное	Включена	0,003	0,008	-1678,472	-3005,630	2191,867	4081,098	1,632	1,783
IPV13	NVKL	3820	Фиксированное	Включена	0,003	0,008	2869,068	-4736,055	1084,599	5642,528	1,632	1,907
IPV14	NVKL	СНЕР	Фиксированное	Включена	0,004	0,009	-9927,422	-4053,160	6439,319	12507,863	1,632	2,136
IPV16	YASK	BAZ4	Фиксированное	Включена	0,004	0,011	23144,193	-4440,186	-8106,573	24921,586	1,947	0,153