

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии

СПУТНИКОВАЯ ГЕОДЕЗИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных и практических работ для студентов
направления подготовки 21.04.03 «Геодезия и дистанционное зондирование»
(программа магистерской подготовки «Инженерная геодезия»)
всех форм обучения

Воронеж 2022

УДК 528
ББК 26.21я7

Составитель Н. Б. Хахулина

Спутниковая геодезия: методические указания для выполнения лабораторных и практических работ для студентов направления 21.04.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Н. Б. Хахулина. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. 21 с.

В методических указаниях даны рекомендации по выполнению лабораторных и практических работ для работы со спутниковым геодезическим оборудованием с помощью спутникового приемника GRX1. Методические указания включают в себя описание занятий, задания к ним, вопросы для самопроверки и списки рекомендованной литературы.

Предназначены для студентов направления подготовки 21.04.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» (программа магистерской подготовки «Инженерная геодезия») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_СГ_ПЗ.pdf.

Библиогр.: 7 назв.

УДК 528
ББК 26.21я7

Рецензент – Н. И. Самбулов, канд. геогр. наук, заместитель начальника проектного центра создания цифровых территорий ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

Введение

По направлению 21.04.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» (профиль "Инженерная геодезия") учебным планом предусматривается изучение дисциплины «Спутниковая геодезия».

Цель дисциплины «Спутниковая геодезия» - обучение студентов проведению спутниковых измерений, устройству спутникового геодезического оборудования, использованию нормативных документов в области спутниковой геодезии, действующих на территории РФ.

В ходе учебного процесса студент должен прослушать курс лекций по заданной дисциплине, подготовить курсовую работу, сдать экзамен.

Настоящие методические указания предусмотрены для выполнения практических и лабораторных работ по спутниковой геодезии с помощью спутникового приемника GRX1.

GRX1 представляет собой современный компактный многочастотный ГНСС приемник, который спроектирован специально для высокоточных геодезических измерений и может применяться для решения самых различных задач.

Приемник GRX1 может принимать и обрабатывать сигналы различных типов (в том числе сигналы GPS L1, L2, C/A, L2C GLONASS L1, L2, C/A), что повышает точность определения пунктов съемки и местоположения особенно на труднодоступных участках. Сочетание таких особенностей приемника как многочастотность и возможность приема сигналов с двух спутниковых систем GPS и GLONASS обеспечивают высокую точность измерений при выполнении любого вида съемки. Также эффект снижения многолучевости, позволяет выполнять съемку в залесенной местности и в условиях приема даже слабого сигнала со спутника.

Для выполнения геодезических работ предусмотрено три различных режима: статика, стой-иди, кинематика. При режиме измерений «Статика» максимальное расстояние между приемниками, как правило, не превышает 20 км. При небольшой ионосферной активности и ночных измерениях возможно увеличение определения приращений координат на расстояниях, превышающих 20 км. Режим «Статика» является наиболее точным и позволяет определять приращения координат пунктов в плане со средней квадратической ошибкой 5 мм + 1 мм/км, а превышений - 10 мм + 2 мм/км, при времени наблюдений от 20 до 60 минут в зависимости от расстояния между определяемыми пунктами.

Режим «Стой-иди» допускает максимальное удаление между спутниковыми приемниками до 10 км. Время инициализации приемников - 5 минут на инициализированной рейке или 15 секунд на пункте с известными координатами. Под инициализацией здесь и далее подразумевается установка исходных (начальных) данных. Рекомендуемое время измерения на

определяемом пункте 1 5 -6 0 секунд. Средняя квадратическая ошибка определения плановых координат в режиме «Стой-иди» равна 12 мм +2.5 мм/км, а превышений- 15 мм + 2,5 мм/км.

В методических указаниях даны сведения, позволяющие изучить приёмник GRX1 компании SOKKIA как одного из существующих навигационных приёмников и научиться работать с ним. Методические указания написаны на основе русифицированной версии представления приёмником информации.

На примере приёмника GRX1 компании SOKKIA описаны принципы эксплуатации спутникового навигационного приёмника в процессе выполнения рекогносцировки и других полевых работ. Освоение работы с приёмником во всех тонкостях и деталях возможно в процессе его эксплуатации под руководством опытного преподавателя.

Работа со спутниковым навигационным приёмником основана на использовании системы меню в контроллере. Поэтому для работы с приёмником необходимо следующее. Знать, какие функции (опции) способен выполнять приёмник. Знать, какую из этих функций желает реализовать оператор. Знать, при работе в каком именно меню (подменю) оператор может реализовать эту функцию. Знать, как выйти в это меню и как работать в этом меню. Оператор также должен понимать смысл названий меню (подменю), понимать смысл сообщений, которые приёмник время от времени посылает оператору, умело реагировать на эти сообщения. Оператор должен также понимать, какие начальные установки приёмника следует выполнить и как эти установки выполнить. Приёмник GRX1 является профессиональным приёмником, поэтому человек, освоивший работу с таким приёмником может считать себя специалистом в области спутниковой навигации.

Практическая работа № 1

Принципы действия спутниковых систем

Съемка с помощью правильно настроенного спутникового приемника позволяет с высокой точностью определить местоположение любого объекта, что является главным требованием при проведении съемочных работ.

Обзор ГНСС

В настоящее время услуги определения местоположения, скорости и определения времени предоставляют две глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС). Эти системы всепогодные, работают круглосуточно и доступны в любой точке на поверхности земли и в околоземном пространстве любому пользователю, имеющему приемник сигналов ГНСС:

ГЛОНАСС - глобальная навигационная спутниковая система. Финансируется и управляется министерством обороны Российской Федерации. Для получения информации о текущем состоянии системы посетите вебсайт информационно-аналитического центра федерального космического агентства РФ (<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>).

GPS - глобальная система определения местоположения. Финансируется и управляется министерством обороны США. Для получения актуальной информации о текущем состоянии системы можно посетить вебсайт обсерватории ВМФ США или вебсайт службы береговой охраны США.

Несмотря на многочисленные различия технологического характера, все системы определения местоположения состоят из трех основных компонентов:

Космический сегмент - спутники GPS и ГЛОНАСС, обращающиеся по круговым орбитам на высоте примерно 20 тыс. км от поверхности земли, снабженные радиопередатчиками и высокоточными часами. Каждый из этих спутников передает сигналы и различную информацию (эфемериды, альманах, параметры коррекции времени бортовых часов и др.).

Сегмент управления - наземные измерительные пункты, расположенные в различных частях земли, отслеживающие спутники и закладывающие в них данные о поправках бортовых часов и обновленные эфемериды (положения спутников как функции времени) для обеспечения достоверности передаваемой со спутников информации.

Пользовательский сегмент - гражданские и военные пользователи, оснащенные приемниками ГНСС, использующие измерения, выполненные по этим сигналам для вычисления своего местоположения.

В современном мире развитие спутниковых систем осуществляется и в других странах, например:

Бэйдоу – китайская глобальная спутниковая система навигации. Её разработка началась в 1994 году (версия «Бэйдоу-1»), на полную мощность

она вышла в 2020 году (версия «Бэйдоу-3»). Создававшаяся с 1994 года система «Бэйдоу-1» была завершена 21 декабря 2000 года, после запуска двух необходимых для неё спутников. Система основывалась на идее Чэнь Фаньюна 1983 года о достаточности двух спутников на геосинхронной орбите для определения местоположения на ограниченной территории, при этом в качестве третьего, неподвижного виртуального спутника рассматривался центр Земли.

Система «Бэйдоу» создавалась в три этапа:

- 2000—2003 — экспериментальная система Бэйдоу из трёх спутников;
- к 2012 году — региональная система для покрытия территории Китая и прилегающих территорий;
- к 2020 году — глобальная навигационная система.

Состав орбитальной группировки космической навигационной системы «Бэйдоу» на 10 марта 2020 года:

- всего в составе группировки — 48 аппаратов;
- используются по целевому назначению — 43 аппарата;
- не используется по целевому назначению — 5 аппаратов.

- GALILEO — это глобальная навигационная спутниковая система, которая вышла в 2016 году. Проект назван в честь итальянского астронома Галилео Галилея. Одна из целей Galileo-обеспечить независимую высокоточную систему позиционирования, чтобы европейским странам не приходилось полагаться на GPS США или российскую Систему ГЛОНАСС, которые могут быть отключены или выведены из строя их операторами в любое время. Galileo предназначен для обеспечения измерений и улучшения услуг позиционирования на более высоких широтах, чем другие системы позиционирования. Galileo также предоставит новую функцию глобального поиска и спасения (SAR) в рамках системы MEOSAR.

К началу декабря 2021 года в созвездии было запущено 22 спутника.

- Региональные спутниковые системы:

IRNSS — индийская региональная спутниковая система навигации, проект которой был принят к реализации правительством Индии. Разработка осуществлялась Индийской организацией космических исследований (ISRO). Система, получившая с началом эксплуатации название NAVIC (англ. NAVigation with Indian Constellation), обеспечивает только региональное покрытие самой Индии и частей сопредельных государств. Первый спутник был запущен в 2008 году. Общее количество спутников системы IRNSS — 7.

QZSS — японская квази-зенитная спутниковая система (quasi-zenith satellite system, QZSS) была задумана в 2002 г. Как коммерческая система с набором услуг для подвижной связи, вещания и широкого использования для навигации в Японии и соседних районах юго-восточной Азии. Первый QZSS-спутник был запущен в 2010 г. Предполагается создание группировки из трёх

спутников, находящихся на геосинхронных орбитах, а также собственной системы дифференциальной коррекции.

Задание к практической работе:

- дать краткую характеристику каждой из существующих ГНСС технологий;
- сделать таблицу со сравнением характеристик ГНС систем;
- выполнить описание спутникового оборудования, классифицировать его по характеристикам.

Литература.

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т.1. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». - М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.

2. Антонович К.М. Навигационно-топографическая GPS-система RATHFINDER. Практикум для студентов геодезических специальностей. Ч.1. Новосибирск, СГГА, 1995 г.-44 с.

3. Информационный ресурс по технологиям высокоточного позиционирования с использованием Глобальных Спутниковых Навигационных Систем (ГНСС). GNSS EXPERT. Режим доступа: <http://gnss-expert.ru/>

4. Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения. Прикладной потребительский центр ГЛОНАСС. Режим доступа: <https://www.glonass-iac.ru>

5. Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос». ГЛОНАСС. Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru/21923/>

Вопросы по теме работы

1. Какие системы относятся к глобальным, а какие к региональным и почему?
2. Назовите преимущества системы ГЛОНАСС относительно других систем?
3. Какие задачи решают глобальные навигационные системы?

Лабораторная работа № 1

Геодезическое спутниковое оборудование и GPS - ГЛОНАСС системы

На сегодняшний день геодезические, изыскательские и строительные работы выполняются с применением самых современных и передовых

технологий сбора и обработки информации, одним из которых является спутниковое оборудование.

Геодезическое спутниковое оборудование GPS-ГЛОНАСС системы в геодезии активно применяются при инженерно-геодезических изысканиях, при геодезических разбивочных работах, на разных этапах строительства, межевания, привязки контрольных точек разбивки теодолитных и тахеометрических ходов, с помощью спутникового оборудования полевые геодезические работы выполняются в рекордно сжатые сроки позволяя не только собирать координатные данные, но и одновременно со сбором производить их обработку в реальном времени. Спутниковые системы и геодезическое спутниковое оборудование применимы в достаточно широком спектре различных областей. Традиционно, спутниковое оборудование применяется в геодезии, землеустройстве, кадастре недвижимости, мониторинге и, конечно, в строительстве. Также, спутниковое оборудование служит для транспорта – в качестве основы навигационной системы и расчета местоположения. В самых современных системах мониторинга зданий и сооружений, важнейших уникальных инженерных объектов, все больше спутниковое оборудование интегрируется с разнообразным диагностическим оборудованием, таким как трассоискатели, эхолоты, беспилотные диагностические, наблюдательные и тепловизионные летательные аппараты. Геодезическое спутниковое оборудование и спутниковые системы позволяют привязывать данные диагностики объекта к точному времени и географическим координатам. Геодезические спутниковые приемники служат для определения координат различных объектов находящихся в определенных точках на местности. Геодезический спутниковый приемник принимает и обрабатывает спутниковый сигнал, преобразовывая данные в координаты на местности, в той системе, которой необходимо.

Геодезические GPS/ГЛОНАСС приемники позволяют определять координаты с точностью от нескольких метров до нескольких миллиметров. ГЛОНАСС приемник является российской альтернативой американским приёмникам системы спутникового позиционирования GPS. ГЛОНАСС приемники служат как для определения координат, скорости и других параметров кроме того ГЛОНАСС приемник может быть использован в системах с высокой динамикой объектов.

Среди спутникового геодезического оборудования - GNSS, в настоящее время на рынке имеются одно- и двухчастотные GPS приемники, многочастотные приемники нового поколения GPS/ГЛОНАСС, радиомодемы и GSM модемы, а также приемники с поддержкой RTK и специализированное ПО.

Во время обучения студенты изучают методику работы с навигационным спутниковым приёмником. В ходе выполнения первой лабораторной работы студенты, выполняя наблюдения на пункте, создают

путевую точку. В результате выполнения этой работы студенты представляют следующие материалы.

1. Ошибка определения местоположения.
2. Широта, долгота и высота точки.
3. Дата и момент времени выполнения наблюдений.

В процессе лабораторной работы студенты, выполняя работу в движении, то есть, осуществляя навигацию, учатся двигаться к заданному пункту, на котором заранее создана путевая точка.

Литература.

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т.1. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». - М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.

2. Антонович К.М. Навигационно-топографическая GPS-система PATHFINDER. Практикум для студентов геодезических специальностей. Ч.1. Новосибирск, СГГА, 1995 г.-44 с.

Вопросы по теме работы

1. Какие характеристики необходимо учитывать при выборе спутникового оборудования
2. К какому типу (по различной классификации) относится аппаратура?
3. Из каких сегментов состоит ГНСС?
4. Почему одночастотную аппаратуру не рекомендуется использовать при расстояниях более 10 км?
5. Что влияет на точность спутниковых определений?

Лабораторная работа № 2

Получение альманахов и эфемерид

Каждый спутник передает навигационное сообщение, которое включает параметры эфемерид спутника, альманах и различную другую информацию. Параметры эфемерид описывают движение спутника по орбите и используются для определения его координат/траектории. Альманах содержит данные об орбите как передающего спутника, так и всех других спутников одной и той же навигационной системы.

Спутники систем GPS и ГЛОНАСС передают данные эфемерид циклически с интервалом 30 секунд.

Спутники системы GPS передают данные альманаха циклически с интервалом 12,5 минут; спутники системы ГЛОНАСС передают данные альманаха циклически с интервалом 2,5 минут.

При наличии альманаха вы можете существенно сократить время, которое уходит на то, чтобы найти спутники и начать прием сигналов с этих спутников.

Приемник регулярно обновляет альманах и эфемериды и хранит самые последние их версии в своей энергонезависимой памяти nvram.

Чтобы получить альманах и эфемериды, необходимо выполнить следующие действия.

Установите приемник в месте с хорошей обзорностью небосклона.

Включите приемник.

Подождите примерно 15 минут, пока приемник не завершит сбор всех данных альманаха и эфемерид со спутников.

Если 15 минут прошло, но приемник не принял сигналы со спутников, очистите энергонезависимую память (nvram). См. Раздел “выберите ram файл и flash файл платы приемника.” На стр. 5-8. [7]

Обновление или получение новых альманахов требуется в следующих случаях.

Если приемник был отключен и не использовался для работы в течение длительного периода времени.

Если последняя известная координата местонахождения приемника, хранящаяся в энергонезависимой памяти nvram, отличается от его текущего местоположения на несколько сотен километров.

После загрузки новых кодов дополнительных опций (oaf).

После загрузки нового микропрограммного обеспечения.

После очистки энергонезависимой памяти nvram.

Перед съемкой.

Литература:

1. Инструкция к спутниковому приемнику GRX1. Геостройизыскания. Режим доступа: https://vrn.gsi.ru/art.php?id=419#gNSS_receiv

2. Информационный ресурс по технологиям высокоточного позиционирования с использованием Глобальных Спутниковых Навигационных Систем (ГНСС). GNSS EXPERT. Режим доступа: <http://gnss-expert.ru/>

3. Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения. Прикладной потребительский центр ГЛОНАСС. Режим доступа: <https://www.glonass-iac.ru>

4. Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос». ГЛОНАСС. Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru/21923/>

Вопросы

1. Что такое альманах?

2. Что такое эфемериды?

3. Как собираются и используются данные альманаха и эфемерид

Лабораторная работа № 3

Конфигурация GRX1

Конфигурация как базовой станции, так и ровера должны соответствовать выбранному типу съемки.

Если необходимо выполнить съемку в режиме RTK, поправки с базового приемника передаются на ровер, чтобы последний мог точно определить свое местоположение относительно базы.

Базовый приемник обычно устанавливается над точкой с известными координатами и собирает данные со спутников систем GPS/ГЛОНАСС. По мере получения данных со спутников приемник измеряет фазы несущей и кода, чтобы точно вычислить свое местоположение. Затем приемник передает эту информацию по радиомодему (указан GSM/GPRS или CDMA) на ровер.

Ровер принимает поправки, переданные с базовой станции, и вносит их в свои собственные измерения псевдодальностей до спутников.

Ровер представляет собой подвижный GPS приемник, установленный на геодезической вешке или биподе, который обрабатывает свои собственные измерения фазы несущей с учетом поправок, принятых от базовой станции, и с высокой точностью определяет свои координаты относительно базовой станции.

При выполнении съемки с последующей обработкой результатов измерений в камеральных условиях, как правило, оба приемника (базовый и ровер) отдельно фиксируют свои измерения фазы и/или несущей по спутникам в течение одного и того же интервала времени. Эти данные затем обрабатываются с использованием программ постобработки (например, spectrum survey office).

При настройке приемников для съемки в rtk режиме

Используйте следующий порядок действий.

Выполните действия по подготовке приемника к съемке.

Настройте один приемник как rtk базу, а другой как rtk ровер.

Установите базовый приемник над точкой с известными координатами, чтобы приступить к сбору данных в режиме статического наблюдения и передаче поправок. Установите ровер, чтобы начать прием rtk поправок.

При настройке приемников для съемки с постобработкой

Используйте следующий порядок действий.

Выполните действия по подготовке приемника к съемке.

Настройте один приемник как базовую станцию, а другой как ровер..

Установите базовый приемник над точкой с известными координатами, чтобы приступить к сбору данных в режиме статического наблюдения. Установите ровер, чтобы начать сбор данных в режиме статических и кинематических наблюдений.

Литература:

1. Инструкция к спутниковому приемнику GRX1. Геостройизыскания.
Режим доступа: https://vrn.gsi.ru/art.php?id=419#gNSS_receiv

Вопросы:

1. Каким образом происходит настройка спутникового оборудования?
2. Что необходимо учитывать для минимизации погрешностей измерений?

Практическая работа №2

Абсолютный метод спутникового позиционирования

Спутниковый навигационный приемник GRX1.

Цель работы.

Студенты должны ознакомиться с абсолютным методом спутниковых определений координат, научиться конфигурировать спутниковые приемники и работать с ними в режиме навигации и в режиме определения координат.

Бюджет времени: 6 часов.

Содержание занятия 1 – Общее знакомство с приемником GRX1

1. Общее знакомство с приемником GRX1. Зарисовать внешний вид приемника. Ознакомиться с назначением кнопок на передней панели приемника, записать. Выписать названия основных окон меню. Изучить содержание окон.

2. Создание, редактирование и удаление путевых точек. Создать путевую точку в камеральных условиях.

Координаты:

$B = ,$

$L = ,$

$H = .$

Задать имя точки и ее символ. Записать результат. Создать путевую точку. В конце занятия удалить созданные путевые точки.

3. Инициализация. Измерить и записать время между включением приемника и определением координат. Записать номера спутников, от которых принимается сигнал, зарисовать положение наблюдаемых спутников на небесной сфере. Объяснить различный уровень сигнала от различных спутников. Создать несколько путевых точек в полевых условиях. Записать координаты, имя, точность.

Занятие 2 – конфигурация приемника, создание маршрута, навигация к заданным точкам

1. Установить часы приемника в системе всемирного времени UTC, потом в системе московского времени.

2. Создать 3 путевые точки:

точка 1 – начало движения, созданная на месте во время занятия 1
точка 2 – пункт для спутниковых наблюдений, координаты в СК WGS-84:

$B = 51^{\circ}39'15.8580''$,

$L = 39^{\circ}11'30.1488''$

$H = 101,118$ м

точка 3 – пункт городской полигонометрии, координаты в СК-42:

$x = \dots\dots\dots$ м

$y = \dots\dots\dots$ м

$H = \dots\dots\dots$ м

3. Конфигурация приемника. Изменение системы координат. Перейти к системе координат СК-42 в проекции Гаусса-Крюгера, создать путевую точку 3. Вернуть исходную систему координат WGS-84, записать координаты точки 3.

Данные для перехода из одной системы координат в другую:

Эллипсоид WGS-84: $a = 6378137$ м, $1/298.257223563$.

Эллипсоид Красовского: $a = 6378245$ м, $1/298.3$

Параметры перехода от WGS-84 к СК-42 (User system):

Сдвиг начала координат: $dX = +25$ м, $dY = -141$ м, $dZ = -80$ м.

Параметры системы Гаусса-Крюгера (User UTM Grid):

масштаб вдоль осевого меридиана = 1,

ширина зоны 60,

смещение оси +500 000 м.

4. Создать маршрут, проходящий через точки 1-2-3. Записать расстояния между точками и соответствующие азимуты направлений.

5. Навигация со спутниковым приемником.

6. Движение к заданной путевой точке. Записать скорость движения. Проследить на страницах КОМПАС и КАРТА изменение расстояния и скорости.

7. Определить повторно координаты начальной путевой точки. Записать их и объяснить расхождение в координатах.

Вопросы по работе

1. Расшифровать термины ГЛОНАСС, GPS.

2. Системы координат WGS-84, СК-42, СК-95.

3. Системы времени UTC и LOCAL TIME.

4. Принцип определения координат пунктов с помощью спутниковых систем GPS, ГЛОНАСС.

5. Что такое абсолютный метод определения координат? Точность этого метода. Источники ошибок в абсолютном методе.

6. Что такое путевые точки? Методы создания путевых точек.

7. Что такое трек и маршрут?

8. В чем принципиальное отличие геодезического пункта, созданного традиционными геодезическими методами, от пункта, предназначенного для спутниковых наблюдений?

Практическая работа №3

Спутниковая аппаратура потребителя. Выбор спутниковой аппаратуры

Цель. Изучить типы и потенциальные возможности спутниковой аппаратуры, освоить методику выбора спутниковой аппаратуры для выполнения конкретных топографо-геодезических работ и определения минимальной комплектности.

Бюджет времени: 2 часа

Содержание работы.

1. Изучить типы и потенциальные возможности спутниковых приемников и антенн (кодовые, кодово-фазовые, фазовые: G, G+G, L1, L1+L2).

2. Выбрать тип и модель спутниковой аппаратуры для выполнения конкретных работ (согласно вариантов) и определить ее комплектность. Выбор спутниковой аппаратуры обосновать (там, где это необходимо, выполнить расчет точности и плотности геодезической основы).

3. Показать на рисунке основные элементы выбранной спутниковой аппаратуры. Требование к оформлению работы. Работа должна быть оформлена на одной стороне не более 4 сшитых стандартных листов белой бумаги формата А4 размером 210х297 и содержать: титульный лист и текстовую часть. На титульном листе обязательно указывается наименование учебного заведения, института, специальность, номер практической работы и ее тема, номер варианта, фамилия студента и подгруппа, фамилия преподавателя. В текстовой части обязательно указывается цель и содержание работы, обоснование выбора типа и модели спутниковой аппаратуры, минимальная комплектность спутниковой аппаратуры для выполнения работ (согласно варианта).

Варианты:

1. Определение на местности местоположения пунктов при выполнении Работ по обследованию и рекогносцировке.

2. Определение координат пунктов в болотисто-таежной местности с погрешностью взаимного положения не более 1м в условиях разряженной геосновы (базовые линии 100-150 км).

3. Определение координат пунктов спутниковой геодезической сети с погрешностью взаимного положения не более 2 см (базовые линии не более 10 км).

4. Выполнение работ по созданию съемочного обоснования на застроенной территории для крупномасштабной съемки 1:2000.

5. Определение координат планово-высотных опознаков для съемки масштаба 1:5000.

6. Выполнение постоянных спутниковых наблюдений на пунктах ФАГС.

7. Определение координат пунктов спутниковой геодезической сети с погрешностью взаимного положения не более 1-2 см (базовые линии 20-30 км).

8. Выполнение работ по созданию съемочного обоснования и крупномасштабной съемки 1:1000.

9. Определение своего местоположения в процессе движения на автотранспорте.

10. Определение координат межевых знаков относительно ближайших пунктов городской геодезической сети со средней квадратической погрешностью 5 см.

11. Создание высокоточной геодезической сети (ВГС) со средней квадратической погрешностью взаимного положения пунктов 1-2 см.

12. Создание спутниковой геодезической сети 1 класса (СГС-1) со средней квадратической погрешностью взаимного положения пунктов 1-2 см.

13. Создание спутниковой городской геодезической сети 1 класса (СГГС-1) со средней квадратической погрешностью взаимного положения пунктов 1-2 см.

Литература.

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т.1. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». - М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.

2. Антонович К.М. Навигационно-топографическая GPS-система RATHFINDER. Практикум для студентов геодезических специальностей. Ч.1. Новосибирск, СГГА, 1995 г.-44 с.

3. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. ГКИНП (ОНТА) – 01-271-03. М., ЦНИИГАиК, 2003 г.

Вопросы по теме работы

1. Классификация спутниковой аппаратуры.

2. К какому типу (по различной классификации) относится выбранная аппаратура?

3. Какая аппаратура точнее - фазовая или кодовая, и почему?

4. Почему одночастотную аппаратуру не рекомендуется использовать при расстояниях более 10 км?

5. Обосновать выбор аппаратуры для своего варианта.

6. Назвать несколько фирм-производителей спутниковой аппаратуры.

7. Паспортная точность приемника при статике в плане: 3мм

плюс/минус 1PPM. Какова будет ошибка в плане при расстоянии 10 км?

Практическая работа №4

Создание геодезических сетей с применением спутниковых технологий

Цель. Изучить технологические особенности создания спутниковых геодезических сетей. Освоить технологию составления рабочего проекта и программы спутниковых измерений.

Содержание работы.

1. Изучить технологическую схему создания спутниковых геодезических сетей.

2. Освоить особенности создания спутниковых городских геодезических сетей.

3. Выполнить проектирование спутниковой городской геодезической сети, состоящей из исходного пункта (ИП), пунктов каркасной сети (КС) и пунктов спутниковой городской геодезической сети первого класса (СГГС-1). Составить графическую часть проекта в виде документа «Схема спутниковой геодезической сети города N». Составить программу спутниковых измерений на пунктах городской геодезической сети.

4. Составить пояснительную записку по реализации спутниковых измерений на пунктах спутниковой городской геодезической сети.

Бюджет времени: 6 часов

Требования к оформлению работы.

В текстовой части приводятся следующие документы: 1. Схема спутниковой геодезической сети города N на которой согласно условных обозначений приведены геодезические и гравиметрические пункты, нивелирные знаки; измеряемые независимые базовые линии КС и СГГС-1 в соответствующих расстановках спутниковой аппаратуры. 2. Программа спутниковых измерений, которая содержит расстановки спутниковой аппаратуры на пунктах спутниковой геодезической сети. 3. Пояснительная записка, которая содержит перечень работ необходимых для выполнения спутниковых измерений, объемы, сроки и мероприятия для реализации спутниковых измерений. Указания к выполнению работы. Работа выполняется бригадой из трех студентов. При выполнении работы руководствоваться требованиями нормативно технического акта [1]. Исходные данные для выполнения работы приведены далее по тексту.

В городе N площадь которого составляет около 60 км² в 2005 году выполнено предпроектное обследование пунктов городской геодезической сети и пунктов государственной геодезической основы, рекогносцировка и закладка центров исходного пункта, приближенные координаты которого, определяются в зависимости от варианта ($X = 1004000 + 500 \cdot \text{№ варианта}$, $Y = 1014000 + 500 \cdot \text{№ варианта}$ в м). Результаты выполненных работ в 2005

году приведены в таблице №1. На основании данных таблицы №1 составить схему рабочего проекта в масштабе 1:100 000. На схеме указать пункты спутниковой городской геодезической сети: исходный пункт (ИП), пункты каркасной сети (КС) и пункты СГГС-1, независимые базовые линии- вектора в соответствии с принятыми условными обозначениями. Составить программу спутниковых измерений на пунктах городской геодезической сети в зависимости от количества спутниковых приемников 2+№ варианта. Составить пояснительную записку к рабочему проекту.

Литература:

1. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. ГКИНП (ОНТА) – 01-271-03. М., ЦНИИГАиК, 2003 г.

2. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т.1. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». - М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.

3. Конспекты лекций по курсу «GPS- технологии»

Вопросы по теме работы

1. Понятие зависимых и независимых базовых линий.
2. Составить программу спутниковых измерений для заданного числа пунктов и приемников.
3. Для заданного числа пунктов и приемников рассчитать общее количество базовых линий и число независимых из одного сеанса.
4. Что такое Исходный пункт спутниковой геодезической сети?
5. Для чего необходимо знать координаты исходного пункта спутниковой геодезической сети?

Практическая работа №5

Планирование сеансов спутниковых наблюдений

Цель: Практическое освоение технологии планирования сеансов наблюдений.

Бюджет времени: 4 часа

Содержание работы:

1. Ознакомиться с программным обеспечением для планирования спутниковых измерений, изучить методику составления диаграммы препятствий. Исследовать изменение геометрических факторов в зависимости от времени наблюдений, открытости радиогоризонта и наличия препятствий на пути прохождения сигнала от спутников.

2. Получить альманах спутников ГНСС разными способами: из файла наблюдений, или с сайта ИАНЦ ГЛОНАСС.

3. Составить диаграмму препятствий и выполнить (согласно варианту) планирование сеансов наблюдений на пунктах спутниковой геодезической сети. Исходные данные для выполнения работы. N – номер варианта 1. Приближенные координаты района работ: $B=51^{\circ} + 2 \cdot N$, $L=39^{\circ}$, разница времени с UTC – 3 час.

2. Дата наблюдений: дата выдачи задания.

3. Время – светлое время суток на заданную дату.

4. Продолжительность непрерывного сеанса наблюдений – 4 часа.

5. Маска по высоте - 15° , минимальное количество наблюдаемых спутников – 6, максимальное значение PDOP – 8.

6. Препятствия для прохождения радиосигнала: рекламный щит. В результате инструментальной съемки препятствия (рекламного щита) получена следующая информация: точка №1. Азимут = $(170 + 5 \cdot \text{№ варианта})$. Угол наклона = $(30 + 5 \cdot \text{№ варианта})$. Расстояние до препятствия 10 м. Точка №2. Азимут = $(180 + 5 \cdot \text{№ варианта})$. Угол наклона = $(35 + 5 \cdot \text{№ варианта})$. Расстояние до препятствия 11 м. Заполнить Приложение 1.

7. Планирование выполнить для совместного использования спутников GPS и ГЛОНАСС.

8. Альманах, не старше месяца от даты наблюдения.

Методические указания к выполнению работы. Работа должна быть оформлена на листах формата А4 и содержать: титульный лист, тему и содержание работы, вариант и исходные данные, приложение 1.

В результате планирования следует получить и приложить к работе:

Диаграммы: - числа PDOP, HDOP, VDOP; - число спутников; Рисунки: - небесная сфера и треки спутников; Таблицы: - рекомендуемые интервалы наблюдений. После выполнения работы дать заключение: с заданными условиями спутниковых наблюдения ... числа ... месяца в точке с координатами ... рекомендуется выполнять измерения с ... по ... часов (указать время).

Вопросы по теме работы

1. Для чего выполняют планирование спутниковых измерений?
2. Какие параметры задают при планировании?
3. Что такое альманах, и где его можно взять?
4. Что такое Маска по высоте?
5. Что такое геометрический фактор? От чего он зависит?
6. При ошибке измерения псевдодальности в 2 м геометрический фактор PDOP равен 4. Какова ошибка определения местоположения?

Библиографический список

1. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. ГКИНП (ОНТА) – 01-271-03. М., ЦНИИГАиК, 2003 г.
2. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т.1. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». - М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.
2. Антонович К.М. Навигационно-топографическая GPS-система RATHFINDER. Практикум для студентов геодезических специальностей. Ч.1. Новосибирск, СГГА, 1995 г.-44 с.
3. Информационный ресурс по технологиям высокоточного позиционирования с использованием Глобальных Спутниковых Навигационных Систем (ГНСС). GNSS EXPERT. Режим доступа: <http://gnss-expert.ru/>
4. Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения. Прикладной потребительский центр ГЛОНАСС. Режим доступа: <https://www.glonass-iac.ru>
5. Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос». ГЛОНАСС. Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru/21923/>
6. Федеральный центр навигационных данных. Режим доступа: <https://fcnd.ru/>
7. Инструкция к спутниковому приемнику GRX1. Геостройизыскания. Режим доступа: https://vrn.gsi.ru/art.php?id=419#gnss_receiv

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	2
Практическая работа № 1	
Принципы действия спутниковых систем.....	5
Лабораторная работа № 1	
Геодезическое спутниковое оборудование и GPS - ГЛОНАСС системы.....	7
Лабораторная работа № 2	
Получение альманахов и эфемерид.....	9
Лабораторная работа № 3	
Конфигурация GRX1.....	11
Практическая работа №2	
Абсолютный метод спутникового позиционирования.....	12
Практическая работа №3	
Спутниковая аппаратура потребителя. Выбор спутниковой аппаратуры.....	14
Практическая работа №4	
Создание геодезических сетей с применением спутниковых технологий...	16
Практическая работа №5	
Планирование сеансов спутниковых наблюдений.....	17
Библиографический список.....	19

СПУТНИКОВАЯ ГЕОДЕЗИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных и практических работ для студентов
направления подготовки 21.04.03 «Геодезия и дистанционное зондирование»
(программа магистерской подготовки «Инженерная геодезия»)
всех форм обучения

Составитель

Хахулина Надежда Борисовна

Подписано к изданию 06.06.2022.

Уч.-изд. л. 1,0.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84