

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ДГТУ

## СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Методические указания и задания для обучающихся  
заочной формы обучения  
по направлению подготовки 21.05.01 «Прикладная геодезия»

Ростов-на-Дону, 2018

# 1. ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

## 1.1. 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:

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 (<http://tycho.usno.navy.mil/>) или вебсайт службы береговой охраны США (<http://www.navcen.uscg.gov/>).

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/>).

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:

- DORIS— французская навигационная система. Принцип работы системы связан с применением эффекта Доплера. В отличие от других спут-

никовых навигационных систем основана на системе стационарных наземных передатчиков, приёмники расположены на спутниках. После определения точного положения спутника система может установить точные координаты и высоту маяка на поверхности земли. Первоначально предназначалась для наблюдения за океанами и дрейфом материков;

Строящиеся глобальные спутниковые системы — развёртываемая Китаем местная спутниковая система навигации, основанная на геостационарных спутниках. По состоянию на 2015 год система имела 14 работающих спутников: 5 на геостационарных орбитах, 5 — на геосинхронных и 4 — на средних околоземных. Реализация программы началась в 2000 году. Первый спутник вышел на орбиту в 2007 г. В мае 2016 года был запущен 21-й космический аппарат. Предполагается, что к 2020 году, когда количество спутников будет увеличено до 35, система «БЭЙДОУ» сможет работать как глобальная;

- GALILEO — европейская система, находящаяся на этапе создания спутниковой группировки. По состоянию на ноябрь 2016 года на орбите находится 16 спутников, 9 действующих и 7 тестируемых. Планируется полностью развернуть спутниковую группировку к 2020 году;

- Строящиеся региональные спутниковые системы:

IRNSS — индийская навигационная спутниковая система, в состоянии разработки. Предполагается для использования только в Индии. 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.

### **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 со-

бирать 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.

## **1.2. Методы и режимы измерений спутниковой аппаратуры**

Определение координат по наблюдениям спутников навигационных систем выполняется абсолютными, дифференциальными и относительными методами.

В абсолютном методе координаты получаются одним приемником в системе координат, носителями которой являются станции подсистемы контроля и управления и, следовательно, сами спутники навигационной системы. При этом реализуется метод засечки положения приемника от известных положений космических аппаратов (КА). Часто этот метод называют также точечным позиционированием.

Абсолютный метод основан на измерениях по коду, поэтому точность зависит от качества кварцевого генератора времени приемника и составляет 3-15 м. Применяется этот метод в низкоточной навигации (мониторинге транспорта, судов и пр.).

В дифференциальном и относительном методе наблюдения производят не менее двух приемников, один из которых располагается на опорном пункте с известными координатами, а второй совмещен с определяемым объектом. В дифференциальном методе по результатам наблюдений на опорном пункте отыскиваются поправки к соответствующим параметрам наблюдений для неизвестного пункта или к его координатам, то есть наблюдения обрабатываются раздельно. Этот метод обеспечивает мгновенные решения, обычно называемые решениями в реальном времени. В них достигается более высокая точность, чем в абсолютном методе, но только по отношению к опорной станции. В относительном методе наблюдения, сделанные одновременно на опорном и определяемом пункте, обрабатываются совместно. Это основное различие между относительным и дифференциальным методом, которое приводит к повышению точности решений в относительном методе, но исключает мгновенные решения. В относительном методе определяется вектор, соединяющий опорный и определяемый пункты, называемый вектором базовой линии.

В каждом из трех указанных методов определений координат возможны измерения как по кодовым псевдодальностям (по фазе кода), так и по фазе несущей. Точность кодовых дальностей имеет метровый уровень, в то время как точность фазовых измерений лежит в миллиметровом диапазоне. Точность кодовых дальностей, однако, можно улучшить, если использовать метод узкого коррелятора или сглаживание по фазе несущей, достигая при этом дециметровый и даже более высокий уровень точности. В отличие от фаз несущих колебаний, кодовые дальности фактически не содержат неоднозначностей. Это делает их невосприимчивыми к потерям счета циклов (то есть изменениям неоднозначностей фазы) и, в некоторой степени, к препятствиям на пункте. Для фазовых же измерений критическим моментом является разрешение их неоднозначностей.

Точность дифференциального и относительного метода значительно выше, чем в соответствующих вариантах абсолютного метода, и может достигать сантиметрового и даже более высокого уровня. Однако следует обратить внимание на два момента. Во-первых, поскольку в этих методах координаты неизвестных пунктов находятся относительно опорного пункта, то погрешности координат этого пункта полностью войдут в координаты определяемых точек, то есть вся развиваемая сеть оказывается смещенной. Во-вторых, поскольку координаты определяемых пунктов используются для вычисления компонент базовых линий, то это также будет сказываться на точности определения приращений координат между опорным и определяемым пунктом.

Что касается режимов измерений, различают три основных режима работы спутниковых систем: статика, кинематика и стой-иди.

Статический режим наблюдений как наиболее точный является основным методом при создании сетей, однако он требует наибольших временных затрат. Время измерения на одном пункте колеблется от 40 мин до нескольких часов (в зависимости от требуемой точности измерений, числа и расположения наблюдаемых спутников, состояния ионосферы и т.п.). Режим «Статика» позволяет определять приращения координат пунктов в плане со средней квадратической ошибкой  $5 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км}$ , а превышений -  $10 \text{ мм} + 2 \text{ мм/км}$ .

Быстрая статика - это разновидность статического режима измерений, при котором время наблюдений может быть сокращено до 10-15 мин. Информацию о необходимом времени наблюдений оператор получает от приемника, когда получен достаточный объем информации. Чтобы избежать неоднозначности при обработке результатов наблюдений, практикуют возврат приемника на ранее определенный пункт или меняют местами антенны; измерения с возвращением (Reoccupation).

В режиме «Стой-Иди» GPS приемник набирает сырые данные ото всех спутников, находящихся в поле зрения антенны, оставаясь неподвижным на пунктах, или двигаясь при перемещении с одного пункта на другой. В большинстве случаев, один приемник расположен на пункте с известными координатами, в качестве базовой станции, набирая данные на протяжении всей съемки. Дополнительные приемники используются для определения положения пунктов. Время измерений в режиме «Стой-Иди» намного короче, чем в режиме «Статика». После того, как сбор данных закончился, данные переносятся с приемников на компьютер для постобработки. Инициализация на известном пункте занимает примерно 15 секунд при 1-секундном интервале записи. Инициализация с рейкой занимает обычно 5 минут.

При кинематическом режиме измерений передвижной приемник, который иногда называют роверным (от англ. rover - скиталец), устанавливают в определенных пунктах на короткое время. Кинематический режим измерений начинают с инициализации, т. е. с начальных измерений, при которых выполняется разрешение неоднозначности. Для инициализации оба приемника устанавливают в нескольких метрах друг от друга, и время измерений составляет примерно 15 мин; если роверный приемник устанавливают вдалеке от опорного, то время инициализации увеличивается и может достигать 1 часа. После завершения инициализации роверный приемник переключают в режим кинематики и перемещают к следующему определяемому пункту. При перемещении роверный приемник должен оставаться в рабочем режиме и обеспечивать прием сигналов от не менее четырех одних и тех же спутников.

Кинематика «в полете» - это разновидность кинематического режима наблюдений без инициализации приемников. Он используется в тех случаях, когда есть уверенность, что время непрерывного приема достаточного числа спутников составляет не менее 20 мин. За это время накапливается достаточное количество информации для успешного разрешения неоднозначности.

Это режим наблюдений используется при наличии соответствующей программы обработки результатов измерений.

При необходимости выполнить обработку результатов наблюдений на роверном приемнике одновременно с измерениями используют/режим «кинематика реальном времени» (Real Time Kinematics - RTK). С этой целью на опорном приемнике устанавливают радиомодем, который обеспечивает дополнительную цифровую радиосвязь с роверными приемниками, снабженными также приемными радиомодемами. На опорном приемнике вычисляют необходимые поправки в результаты измерений и передают на роверные приемники. На роверных приемниках осуществляется обработка результатов фазовых измерений с учетом принятых поправок. Время получения приращений координат занимает несколько секунд.

### **1.3. 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:

1. Установите приемник в месте с хорошей обзорностью небосклона.
2. Включите приемник.
3. 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.»
4. Обновление или получение новых альманахов требуется в следующих случаях.
5. Если приемник был отключен и не использовался для работы в течение длительного периода времени.

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

7. После загрузки новых кодов дополнительных опций (oaf).

8. После загрузки нового микропрограммного обеспечения.

9. После очистки энергонезависимой памяти nvram. Перед съемкой.

#### 1.4. 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 (укув, 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, описанные в главе 2.

- настройте один приемник как rtk базу, а другой как rtk ровер. См.

Раздел “настройка приемника”. Для настройки радиомодема см. Раздел “настройка цифрового радиомодема”:

- 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. См. Раздел “работа с grx1”.

- При настройке приемников для съемки с постобработкой Используйте следующий порядок действий:
- выполните действия по подготовке приемника к съемке, описанные в главе 2.
- настройте один приемник как базовый станцию, а другой как ровер. См. Раздел “настройка приемника”.
- 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. См. Раздел “работа с grx1” на стр. 4-1. Более подробно о кинематической съемке см. Справочное руководство spectrum survey field.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### 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 = ,

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?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2**

### **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 210x297 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 варианту).

#### ***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 геоосновы (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.

### *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?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### 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 км<sup>2</sup> 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 зависимости от количества спутниковых приемников 2+№ варианта. Составить пояснительную записку к рабочему проекту.

#### *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?

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4**

#### **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.

1. N – номер варианта. Приближенные координаты района работ:  $B=51^{\circ}+2*N$ ,  $L=39^{\circ}$ , 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 -  $15^{\circ}$ , 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 =  $(170 + 5 \text{ № варианта})$ . Угол наклона =  $(30 + 5 \text{ № варианта})$ . Расстояние до препятствия 10 м. Точка №2. Азимут =  $(180 + 5 \text{ № варианта})$ . Угол наклона =  $(35 + 5 \text{ № варианта})$ . Расстояние до препятствия 11 м. Заполнить Приложение 1.

7. Планирование выполнить для совместного использования спутников.

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. Бартенев В.А., Гречкосеев А.К., Козорез Д.А., Красильщиков М.Н. Современные и перспективные информационные ГНСС-технологии в задачах высокоточной навигации : монография / В.А. Бартенев, А.К. Гречкосеев, Д.А. Козорез, М.Н. Красильщиков ; под редакцией В.А.Бартенева, М.Н. Красильщикова. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2014. — 192 с. — ISBN 978-5-9221-1577-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/91173> (дата обращения: 11.09.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Карлащук, В. И. Спутниковая навигация. Методы и средства [Электронный ресурс] / Карлащук В.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009.— 284 с.— Режим доступа: <http://www.ipr-bookshop.ru/65412.html>.— ЭБС «IPRbooks»
3. Кашкаров, А. П. Система спутниковой навигации ГЛОНАСС / А. П. Кашкаров. — Москва : ДМК Пресс, 2018. — 96 с. — ISBN 978-5-97060-597-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/97338> (дата обращения: 11.09.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Мещеряков, А.А. Спутниковая Радионавигационная Система «Навстар» (GPS): учебно-методическое пособие / А.А. Мещеряков. — Москва: ТУСУР, 2012. — 39 с. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/10857> (дата обращения: 11.09.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. ГКИНП (ОНТА) – 01-271-03. М., ЦНИИГАиК, 2003 г.
6. 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.
7. Антонович, К. М. Навигационно-топографическая GPS-система RATHFINDER. Практикум для студентов геодезических специальностей. Ч.1. — Новосибирск, СГГА, 1995 г. — 44 с.
8. Конспекты лекций по курсу «GPS- технологии».
9. Буденков, Н. А. Геодезическое обеспечение строительства [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. А. Буденков, А. Я. Березин, О. Г. Щекова. — Электрон. текстовые данные. — Йошкар-Ола : Марийский государственный технический университет, Поволжский государственный технологический университет, ЭБС АСВ, 2011. — 188 с. — 978-5-8158-0841-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22570.html>

10. Михайлов, А. Ю. Геодезическое обеспечение строительства [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Ю. Михайлов. — Электрон. текстовые данные. — М. : Инфра-Инженерия, 2017. — 274 с. — 978-5-9729-0169-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/68984.html>

11. Хаметов, Т. И. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства и эксплуатации зданий, сооружений [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т. И. Хаметов. — Электрон. текстовые данные. — Пенза : Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, ЭБС АСВ, 2013. — 286 с. — 978-5-9282-0877-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/75315.html>

12. Макаров, К. Н. Инженерная геодезия : учебник для вузов / К. Н. Макаров. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 243 с. — (Специалист). — ISBN 978-5-534-07042-2. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.biblio-online.ru/bcode/420700> (дата обращения: 11.09.2019).

13. Авакян, В. В. Прикладная геодезия. Геодезическое обеспечение строительного производства [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. В. Авакян. — Электрон. текстовые данные. — М. : Академический проект, 2017. — 588 с. — 978-5-8291-1953-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/60143.html>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                      | 3  |
| 1. Общие теоретические сведения.....                                                               | 4  |
| 1.1. Принципы действия спутниковых систем.....                                                     | 4  |
| 1.2. Методы и режимы измерений спутниковой аппаратуры.....                                         | 6  |
| 1.3. Получение альманахов и эфемерид.....                                                          | 9  |
| 1.4. Конфигурация GRX1.....                                                                        | 10 |
| Лабораторная работа № 1. Абсолютный метод спутникового<br>Позиционирования.....                    | 11 |
| Лабораторная работа № 2. Спутниковая аппаратура потребителя.<br>Выбор спутниковой аппаратуры.....  | 13 |
| Лабораторная работа № 3. Создание геодезических сетей с применением<br>спутниковых технологий..... | 15 |
| Лабораторная работа № 4. Планирование сеансов спутниковых наблюдений...                            | 16 |
| Библиографический список .....                                                                     | 18 |

**СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ  
И ТЕХНОЛОГИИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к выполнению лабораторных работ  
для студентов направления 21.03.03  
«Геодезия и дистанционное зондирование»  
(профиль «Геодезия»)  
всех форм обучения

**Составители:**  
**Шумейко Вячеслав Владиславович**  
**Хахулина Надежда Борисовна**

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 13.05.2022.  
Уч.-изд. л. 1,3.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84