

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»  
(СГУГиТ)

А. В. Мареев, Е. Г. Гиенко

# **СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

Утверждено редакционно-издательским советом университета  
в качестве практикума для обучающихся по направлению подготовки  
21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование (уровень бакалавриата)

Новосибирск  
СГУГиТ  
2023

УДК 629.783:527

M256

Рецензенты: продакт-инженер по оборудованию PrinCe, АО «ПРИН»  
*И. Ю. Лакеев*

кандидат технических наук, научный сотрудник НИИ стратегического развития СГУГиТ *Л. А. Липатников*

**Мареев, А. В.**

M256 Спутниковые системы и технологии позиционирования : практикум / А. В. Мареев, Е. Г. Гиенко. – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – 58 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-907711-19-8

Практикум подготовлен кандидатом технических наук А. В. Мареевым и кандидатом технических наук, доцентом Е. Г. Гиенко на кафедре космической и физической геодезии СГУГиТ.

Практикум содержит лабораторные работы, предназначенные для обучения работе с геодезическим ГНСС-оборудованием, сервисами функциональных дополнений ГНСС и обработке результатов спутниковых наблюдений.

Практикум по дисциплине «Спутниковые системы и технологии позиционирования» составлен для обучающихся по направлению подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование (уровень бакалавриата). Также он может использоваться для изучения дисциплины «Основы спутникового позиционирования» по направлению подготовки 05.03.03 Картография и геоинформатика (уровень бакалавриата).

Рекомендовано к изданию кафедрой космической и физической геодезии, Ученым советом Института геодезии и менеджмента СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 629.783:527

ISBN 978-5-907711-19-8

© СГУГиТ, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	4
<b>Лабораторная работа № 1.</b> Абсолютный метод спутникового позиционирования. Интерфейс полевой программы для работы со спутниковой аппаратурой .....	6
<b>Лабораторная работа № 2.</b> Спутниковая аппаратура потребителя. Выбор спутниковой аппаратуры.....	15
<b>Лабораторная работа № 3.</b> Способы установки антенны и измерения ее высоты .....	25
<b>Лабораторная работа № 4.</b> Функциональные дополнения ГНСС. Сети активных базовых станций .....	31
<b>Лабораторная работа № 5.</b> Методы ГНСС. Обработка спутниковых измерений в программном комплексе RTKLIV .....	35
<b>Лабораторная работа № 6.</b> Обработка спутниковых измерений в коммерческом программном обеспечении .....	42
<b>Лабораторная работа № 7.</b> Определение координат базовой станции в системе ITRS .....	47
<b>Лабораторная работа № 8.</b> Съёмка в режиме реального времени (RTK).....	51

## ВВЕДЕНИЕ

**Роль и место лабораторных работ в изучении дисциплины.** ГНСС-технологии занимают важное место в геодезическом производстве. Спутниковое позиционирование используется для развития геодезических сетей, проведения топографической съемки, выполнения строительных и кадастровых работ. Поэтому инженеру-геодезисту важно приобрести практические навыки работы с ГНСС-оборудованием и программами обработки результатов спутниковых наблюдений.

Роль практикума при изучении дисциплины «Спутниковые системы и технологии позиционирования» состоит в информационном обеспечении обучающихся при выполнении работ с ГНСС-оборудованием и программами обработки спутниковых наблюдений. Практикум состоит из восьми лабораторных работ, каждая из которых содержит:

- общие положения (время выполнения работы, цель, задачи и перечень обеспечиваемых средств);
- общие теоретические сведения;
- задание на лабораторную работу;
- требования к отчету;
- перечень контрольных вопросов;
- перечень источников, рекомендуемых для самостоятельного изучения.

Практикум не содержит описаний порядка выполнения лабораторных работ (т. е. инструкций по работе с оборудованием, сервисами и программами). Порядок выполнения лабораторных работ приводится в специальных онлайн-формах. Ссылки на эти формы приведены в литературных источниках в каждой из лабораторных работ.

**Цель практикума** состоит в выработке у обучающихся навыков работы с геодезическим ГНСС-оборудованием и программами обработки измерений.

В результате выполнения лабораторных работ обучающийся должен научиться:

- обращаться с полевыми программами для ГНСС-оборудования;
- ориентироваться в характеристиках спутниковой аппаратуры, выбирать аппаратуру и составлять комплект оборудования в зависимости от решаемых задач;
- устанавливать геодезическое ГНСС-оборудование и документировать процесс установки;
- обращаться с некоторыми сервисами функциональных дополнений ГНСС;
- выполнять обработку результатов спутниковых наблюдений различными методами, анализировать результаты обработки спутниковых наблюдений;
- выполнять обработку результатов спутниковых наблюдений в коммерческом программном обеспечении;
- выполнять геодезическую съемку и разбивку в режиме реального времени с использованием ГНСС-оборудования.

# Лабораторная работа № 1

## АБСОЛЮТНЫЙ МЕТОД СПУТНИКОВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ. ИНТЕРФЕЙС ПОЛЕВОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАБОТЫ СО СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРОЙ

**Время выполнения:** 4 часа аудиторной работы, 5 часов самостоятельной.

**Цель лабораторной работы:** изучить абсолютный метод спутникового позиционирования и интерфейс полевой программы для контроллера ГНСС-приемника (далее – контроллер).

**Задачи лабораторной работы:**

- научиться выполнять запись ГНСС-измерений с навигационного модуля смартфона;
- изучить показатели точности спутниковых наблюдений при абсолютном методе спутникового позиционирования;
- научиться преобразовывать координаты пунктов с помощью контроллера геодезического ГНСС-приемника;
- выполнить процедуру обследования геодезического пункта.

**Перечень обеспечивающих средств:**

- программа CUBE-A для контроллеров от компании Stonex;
- программа для записи измерений с ГНСС-модуля смартфона;
- скрипт обработки спутниковых наблюдений абсолютным методом в среде Google Colab;
- онлайн-форма с текстом инструкций к лабораторной работе № 1 (порядок выполнения задания) и ссылками на установочные файлы необходимых программ [5].

### Общие теоретические сведения

**Абсолютный метод спутникового позиционирования** является главным методом определения местоположения на поверхности Земли, когда координаты точек определяются одним приемником в реальном времени.

Модули обработки сигналов ГНСС имеют размеры с карту памяти microSD и сопоставимы с ними по стоимости. Эти модули интегрированы в большое количество мобильных устройств и доступны широкому пользователю. В ГНСС-модулях ведется обработка сигналов со спутников и решается навигационная задача.

В основе абсолютного метода спутникового позиционирования лежит решение обратной пространственной геодезической задачи путем линейной засечки – измерения расстояний до спутников, координаты которых известны. Координаты спутников в реальном времени передаются в навигационном сообщении вместе с дальномерным кодом.

В абсолютном методе ГНСС решение обратной пространственной задачи выполняется по дальномерным наблюдениям четырех спутников. Наблюдение за четырьмя спутниками необходимо для определения четырех неизвестных: трех пространственных координат антенны приемника ( $X, Y, Z$ ) и поправки для его часов.

Точность абсолютного метода спутникового позиционирования варьируется в широких пределах: от сотен до нескольких метров. На точность позиционирования влияют ошибка вычисления расстояния между спутником и приемником, а также геометрия расположения спутников относительно приемника.

На ошибку вычисления расстояния до спутника влияют следующие основные факторы:

- ошибка координат и поправок часов спутников, передаваемых в навигационном сообщении;
- задержка радиосигналов ГНСС в атмосфере (ионосфере и тропосфере);
- качество принимаемого сигнала со спутников ГНСС, задержки во внутренних цепях приемника;
- многопутность, то есть многократное отражение радиосигнала от препятствий.

Полный перечень факторов, влияющих на ошибку определения расстояний до спутников, представлен в лекционном курсе дисциплины «Спутниковые системы и технологии позиционирования». Также перечень можно найти в монографии К. М. Антоновича [2].

Для уменьшения влияния задержки сигналов в атмосфере и многопутности на качество ГНСС-определений устанавливается пороговое ограничение по высоте спутников над горизонтом (маска по высоте). Сигналы, принятые ниже указанного порога, не обрабатываются. Как правило, маска по высоте устанавливается равной 10 градусам.

На точность вычисления координат в ходе позиционирования влияет геометрия пространственной засечки (геометрия расположения спутников относительно приемника). Мерой влияния геометрии расположения спутников служит группа коэффициентов, которая характеризует снижение точности вычисления координат приемника относительно ошибок измерения расстояний до спутников. Группа коэффициентов носит название «геометрический фактор снижения точности» (Dilution Of Precision, DOP). Показатели DOP выводятся на экраны устройств при отображении информации о принимаемых сигналах со спутников при любом методе спутникового позиционирования. Часто используются следующие показатели:

- GDOP – геометрический фактор снижения точности определения местоположения и поправки часов приемника;
- PDOP – снижение точности в пространстве (Position DOP, 3D);
- HDOP – снижение точности в плане (Horizontal DOP);
- VDOP – снижение точности по высоте (Vertical DOP).

Наилучшего качества определения координат следует ожидать при измерениях с наименьшими значениями показателей геометрического фактора снижения точности.

Подробное описание абсолютного метода спутникового позиционирования, а также факторов, влияющих на точность вычисления координат, рекомендуется искать в лекциях по дисциплине и в следующих работах [1, 9].

**Полевая программа ГНСС-приемника.** Геодезические работы с использованием ГНСС-аппаратуры предполагают подробное документирование выполняемых измерений. Полевые приборы имеют на корпусе лишь несколько кнопок и световых индикаторов, а дисплей часто отсутствует вообще. Вся сопроводительная информация и настройки вводятся пользователем при помощи специального устройства – полевого контроллера.

Контроллер представляет собой планшетный компьютер или смартфон со специализированным программным обеспечением. Передача информа-

ции между приемником и контроллером выполняется при помощи WiFi-или Bluetooth-соединений или Web-интерфейса. При помощи контроллера также устанавливается интернет-соединение между спутниковым приемником и сервисами корректирующей информации (для реализации методов DGPS, RTK, PPP).

Контроллер также выполняет функцию полевого калькулятора. При помощи него можно в полевых условиях определять азимуты направлений, вычислять длины линий, площади и преобразовывать координаты точек. Однако главными функциями полевого контроллера являются введение пользовательских настроек в ГНСС-приемник, запись измерений в режиме RTK и вынос точек в натуру. Изучение интерфейса программы для полевого контроллера в практикуме предполагается при **обследовании** геодезического пункта в лабораторной работе № 1 и при **съемке** в реальном времени в лабораторной работе № 8.

**Что понимается под обследованием?** Обследование – это процесс поиска и идентификации объекта геодезических работ на местности. Объектом может служить геодезический пункт, нивелирный репер и любой другой объект, на котором планируется выполнять геодезические работы. Координаты обследуемых объектов часто задаются в государственной референцной системе координат или в местной системе. При этом большинство программ для спутникового позиционирования работают на основе системы координат WGS-84. Следовательно, для обнаружения объектов геодезического обследования необходимо иметь навык преобразования координат из референцной системы (или местной) в систему WGS-84. Как правило, преобразование координат выполняется с помощью семи параметров Гельмерта (три параметра сдвига системы координат, три параметра разворота и параметр масштаба). Для поиска пунктов с точностью в несколько метров достаточно использовать официально опубликованные параметры.

Геодезисту перед обследованием необходимо выполнить сбор сведений о геодезической изученности района работ. Вначале следует получить каталог координат искомых объектов в государственной системе (или местной). Для этого необходимо обратиться в территориальный отдел Росреестра и заполнить форму заявки. Для получения доступа к этой информации необходимо иметь разрешающие документы, в их числе – лицензию на

проведение геодезических работ и техническое задание на выполняемую работу. На официальном сайте Росреестра можно найти публичную карту расположения всех существующих пунктов государственной геодезической сети [16]. Публичная карта ограничена в объеме предоставляемой информации и редко обновляется, поэтому рекомендуется дополнительно использовать сервис, разработанный энтузиастами профессионального сообщества Geobridge [15]. Пользователи сервиса могут самостоятельно отслеживать состояние пункта и вносить актуальную информацию. Определить доступность пунктов к обследованию можно с помощью публичных карт openstreetmap и Google Earth.

Обследование является составной частью проектирования геодезических работ. В частном случае, по результатам обследования требуется установить пригодность изучаемого пункта для проведения ГНСС-наблюдений. Это подразумевает оценку возможности установки ГНСС-оборудования на пункт (физический доступ к пункту), отсутствие помех прохождению сигнала ГНСС, наличие или отсутствие мобильной связи. Регламенты на обследование перед ГНСС-определениями можно найти в документе [13] (пп. 5.12, 4.3.4–4.3.9 и карточка пункта в приложении).

### **Задание на лабораторную работу**

Выполнить запись наблюдений с ГНСС-модуля смартфона. Определить и выписать характеристики сеанса наблюдений:

- продолжительность;
- отслеживаемые системы и сигналы ГНСС;
- среднее количество наблюдаемых спутников;
- средние значения показателя сигнал / шум для отслеживаемых спутников за сеанс;
- средние значения показателей геометрического фактора снижения точности в течение сеанса (PDOP, HDOP, VDOP);
- значение средней квадратической погрешности оценки координат, в плане и по высоте.

Ответить на следующие вопросы.

Какие спутники выделяются на фоне остальных по качеству сигнала? Указать по 3 худших и лучших спутников для каждой системы ГНСС.

Как связаны между собой качество приема сигнала со спутника и его пространственное положение относительно приемника? Определить коэффициент корреляции между пространственным положением спутника относительно наблюдателя и качеством принимаемого сигнала.

Как влияет на величину геометрического фактора изменение маски по высоте?

Как влияет на погрешность позиционирования исключение спутников с низкими значениями показателя сигнал / шум?

Выполнить подготовку полевого контролера к обследованию. Преобразовать координаты пункта, заданного в государственной системе СК-42, в общеземную систему в WGS-84:

- настроить проекцию Гаусса – Крюгера;
- найти в актуальном нормативно-техническом акте параметры связи между системами координат СК 42 и WGS-84 и внести их в контроллер;
- преобразовать координаты объекта обследования;
- выполнить преобразование координат объекта обследования в стороннем сервисе и оценить величину разности преобразованных координат в метрах;
- выполнить обследование геодезического пункта по варианту работы;
- выполнить индивидуальное задание по варианту.

**Требования к отчету.** Отчет следует оформлять согласно правилам СТО «СГУГиТ» [19]. По первой части работы следует представить количественные оценки характеристик выполненного сеанса спутниковых наблюдений и дать качественную интерпретацию результата определения местоположения.

По второй части работы представить следующее:

- 1) скриншот окна «Детали» с преобразованными координатами объекта обследования;
- 2) скриншот окна «Свойства проекта» из программы Cube-A;
- 3) скриншот карты с расположением объекта обследования (Google Карты или Яндекс Карты);
- 4) скриншот окна перевода координат в систему WGS-84 с сайта [mapbasic.ru](http://mapbasic.ru).
- 5) фотографию обнаруженного объекта обследования.

Оформление отчета по индивидуальному заданию следует приводить в виде инструкции (порядка выполняемых действий).

### **Порядок выполнения работы**

Алгоритм выполнения лабораторной работы представлен в онлайн-форме [5].

### **Контрольные вопросы**

1. Для чего нужен контроллер ГНСС-аппаратуры?
2. Что такое обследование и рекогносцировка?
3. Что такое соотношение сигнал / шум? Как он определяется и как его интерпретировать?
4. Что такое азимутальная проекция? Как читать карту спутников и геометрический фактор снижения точности? Как связаны между собой положение спутника относительно приемника и показатели сигнал / шум и DOP?
5. Что такое маска по высоте?
6. Как взаимодействует электромагнитный сигнал со средой распространения (атмосферой)?
7. Какие факторы влияют на точность позиционирования в абсолютном методе?
8. Что такое коэффициент корреляции и как его определить?
9. Что такое местная система координат и для чего она используется?
10. Как получить параметры связи между СК-42 и WGS-84?
11. Как перевести приращения геодезических координат из угловой меры в линейную?
12. Что такое абсолютный метод спутникового позиционирования?

### **Библиографический список**

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2-х т. Т. 1. – М. : Картгеоцентр, 2005. – 334 с.
2. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2-х т. Т. 2. – М. : Картгеоцентр, 2006. – 359 с.

3. Музиченко А. В. Основы радиолокации – основные принципы радиолокации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.radar-tutorial.eu/18.explanations/ex09.ru.html> (дата обращения: 02.05.2023).

4. Гуртнер В, Исти Л. RINEX. Аппаратнонезависимый формат обмена навигационными данными. Версия 2.11 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gnss.4du.ru/wp-content/uploads/2016/02/rinex211rus.pdf>.

5. Абсолютный метод спутникового позиционирования. Интерфейс полевой программы для работы со спутниковой аппаратурой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeXCICoDmbqXQkdBpC6AdCBbzxtF0YuMjIyUQTqqKQ2IrMiUg/viewform?usp=embed\\_facebook](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeXCICoDmbqXQkdBpC6AdCBbzxtF0YuMjIyUQTqqKQ2IrMiUg/viewform?usp=embed_facebook) (дата обращения: 07.05.2023).

6. Google Colaboratory. Начало работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://colab.research.google.com/notebooks/welcome.ipynb#scrollTo=GJBs\\_flRovLc](https://colab.research.google.com/notebooks/welcome.ipynb#scrollTo=GJBs_flRovLc) (дата обращения: 07.05.2023).

7. Аббакумов В. Анализ данных на Python в примерах и задачах. Ч. 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.youtube.com/playlist?list=PLlb7e2G7aSpRb95\\_Wi7lZ-zA6fOjV3\\_17](https://www.youtube.com/playlist?list=PLlb7e2G7aSpRb95_Wi7lZ-zA6fOjV3_17) (дата обращения: 07.05.2023).

8. Афонин К. Ф. Высшая геодезия. Системы координат и преобразования между ними : учеб. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 112 с.

9. Конин В. П., Харченко В. В. Системы спутниковой радионавигации. – Киев : ХОЛТЕХ, 2010. – 520 с.

10. Падве В. А. Математическая обработка и анализ результатов геодезических измерений. В 2 ч. Ч. 1. Основы теории погрешностей измерений и фундаментальные алгоритмы точностной МНК-оптимизации результатов измерений : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 163 с.

11. Падве В. А. Элементы теории вероятностей и математической статистики : учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2013. – 208 с.

12. Временная инструкция по обследованию и восстановлению пунктов и знаков государственной геодезической и нивелирной сетей СССР. – М. : Редакционно-издательский отдел ВТС, 1970. – 22 с.

13. Антонович К. М. Космическая навигация : учеб. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 233 с.

14. ГКИНП (ОНТА)-01-271–03. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. – М. : ЦНИИГАиК, 2003. – 184 с.
15. Как работать в Google Colab? Интенсив по Data Science [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=mj-XOu3VHas>.
16. Карты GEOBRIDGE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geobridge.ru/maps>.
17. ФППД – Федеральный портал пространственных данных. Карта расположения пунктов ГГС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.fppd.cgkipd.ru/map?data=geodesy&data=gngstation&data=GSSNNet&data=Ggsstation&data=ggrsstation> (дата обращения: 07.05.2023).
18. Cube-A User Manual v4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.civilshop.gr/downloads/StonexCube/Cube-a\\_User\\_Manual\\_v4\\_%5BENG%5D.pdf](http://www.civilshop.gr/downloads/StonexCube/Cube-a_User_Manual_v4_%5BENG%5D.pdf) (дата обращения: 07.05.2023).
19. GPS: An Introduction to Satellite Navigation [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLGvhNIu1ubyEO-Jga50LJMzVXtbUq6CPo> (accessed: 05.05.2023).
20. СТО СМК СГУГиТ 8-06-2021 Государственная итоговая аттестация выпускников СГУГиТ. Структура и правила оформления. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – 68 с.

## **Лабораторная работа № 2**

### **СПУТНИКОВАЯ АППАРАТУРА ПОТРЕБИТЕЛЯ.**

### **ВЫБОР СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРЫ**

**Время выполнения:** 2 часа аудиторных занятий, 3 часа самостоятельной работы.

**Цель лабораторной работы:** научиться подбирать ГНСС-аппаратуру для выполнения различных геодезических работ.

**Задачи лабораторной работы:**

- научиться ориентироваться в характеристиках ГНСС-аппаратуры;
- получить навыки выбора ГНСС-оборудования;
- получить навыки комплектования полевой геодезической бригады.

**Перечень обеспечивающих средств:** онлайн-форма с текстом задания [4].

#### **Общие теоретические сведения**

Инженеру-геодезисту при выборе комплекта ГНСС-оборудования следует обращать внимание на ряд обстоятельств и характеристик.

**Наличие устройства составе реестра средств измерений.** Геодезическая ГНСС-аппаратура требует проведения ежегодной метрологической поверки. Без записи в реестре о поверке в ФГИС «АРШИН» приемник нельзя использовать в геодезическом производстве. Поверка геодезического прибора возможна только в том случае, если приемник состоит в реестре утвержденных типов средств измерений. Таким образом, при выборе геодезической аппаратуры необходимо обращать внимание на наличие модели в реестре утвержденных типов средств измерений [10], а также обращать внимание на технические характеристики, которые записаны в актах поверок.

**Состав опций ГНСС-приемника.** Одна и та же модель ГНСС-приемника может сильно отличаться по цене в зависимости от опций. Состав опций различается по следующим позициям:

- количество отслеживаемых систем и сигналов ГНСС (односистемные, двухсистемные, мультисистемные);
- форма принимаемого сигнала (кодовые, фазовые, кодово-фазовые);
- количество отслеживаемых частот (одночастотные L1, двухчастотные L1/L2, трехчастотные L1/L2/L5);
- назначение (геодезический, навигационный, авиационный, для ГИС-приложений и т. д.);
- поддержка различных режимов работы: PPP, относительный метод (static), RTK, DGPS, PPK;
- наличие внутреннего модема, GSM-, 3G-, 4G-, 5G-модема;
- наличие внутреннего цифрового инклинометра, инерциальной системы навигации;
- наличие системы безопасности и защиты от краж.

В опции самых дорогих приемников входит поддержка всех существующих на момент выхода устройства сигналов ГНСС. Это позволяет повышать надежность выполнения спутниковых определений. Наличие режима RTK позволяет выполнять геодезическую съемку в режиме реального времени. Это необходимая опция для выполнения топографической съемки с использованием ГНСС-приемника.

**Диапазон точности работы аппаратуры в различных режимах.** ГНСС-устройства позволяют выполнять определение местоположения с ошибкой различного уровня: десятиметрового, метрового, дециметрового, сантиметрового и миллиметрового. Десятиметровый уровень точности достигается недорогой ГНСС-аппаратурой с помощью абсолютного метода спутникового позиционирования. Метровый уровень точности достигается за счет дифференциального метода (навигационный класс приемников). Дециметровый уровень точности доступен в режиме DGPS с приемом дифференциальных поправок от геостационарных спутников или в реальном времени при использовании метода RTK для фазовой ГНСС-аппаратуры (топографический класс приемников).

Самые дорогие приемники – геодезического класса. Они позволяют достигать сантиметрового и миллиметрового уровней точности на длинных базовых линиях (свыше 100 км) в относительном методе и сантиметрового

в режиме реального времени. Такой уровень точности обеспечивается отслеживанием всех существующих систем и сигналов ГНСС, использованием сложных калиброванных антенн, чувствительных радиокомпонентов и запатентованных производителями аппаратуры алгоритмов и устройств обработки радиосигналов.

**Коммуникации.** Приемник может иметь разный состав коммуникационных элементов в зависимости от назначения. Это интернет-порты (LAN) и WEB-интерфейсы для приемников, предназначенных к работе в качестве базовых станций. Для подвижных приемников применяются внутренние модемы для коммуникации через станции сотовой связи. Отдельной опцией идет внутреннее радио для возможности коммуникации в условиях отсутствия сотовой связи в предполагаемом районе работ. Некоторые недорогие приемники (или антенны SDR) не имеют каких-либо модемов. Такие приемники могут использоваться только для выполнения измерений в режиме статики (относительный метод) или использоваться в связке с контроллером для получения доступа к корректирующей информации через мобильное интернет-соединение.

**Рабочие характеристики.** Это характеристики природных условий, в которых может эксплуатироваться оборудование:

- диапазон рабочих температур;
- время работы устройства на полном заряде батарей (в том числе на низких температурах);
- уровень защищенности устройства от внешних атмосферных воздействий;
- возможность работы устройства на акваториях;
- защита антенн от снежного покрова (для базовых станций).

**Форм-фактор.** Устройства различаются по компоновке основных элементов и могут быть укомплектованы следующим образом:

- моноблок, все элементы в одном устройстве (антенна, приемник, аккумулятор, модем, контроллер);
- моноблок: контроллер – отдельно (антенна, приемник, аккумулятор, модем);
- отдельная компоновка (все перечисленные устройства отдельно);

– SDR (Software Defined Radio) (антенна + блок каскада обработки сигналов в одном устройстве).

Первая и вторая компоновки предназначены для выполнения работ в режиме RTK при небольших количествах съемочных пикетов и проведения коротких сеансов в режиме статики. При больших объемах съемки и необходимости проведения продолжительных сеансов спутниковых наблюдений (СН) практичнее использовать отдельную компоновку. Отдельная компоновка используется при проведении съемки реального времени следующим образом. На вешку устанавливается только антенна, а приемник и модемы помещаются в рюкзак. За счет переноса батарей и электроники в рюкзак вес установки на веху снижается, что повышает удобство проведения съемки. Отдельная компоновка также предпочтительнее для обустройства базовых станций различного назначения при длительных сеансах СН.

**Аксессуары и дополнительные устройства.** Одних лишь спутниковых приемников недостаточно для проведения геодезических работ. В зависимости от вида работ применяются различные устройства, которые можно классифицировать по следующим признакам:

- средства коммуникации и записи данных;
- устройства для установки на определяемом пункте;
- средства проведения дополнительных измерений;
- средства хранения и перемещения приборов;
- средства электропитания.

К средствам **коммуникации и записи данных** относятся следующие:

– *антенные кабели.* Необходимый элемент для приемников отдельного форм-фактора. Предназначены для соединения антенны и приемника. Пользователям следует обращать внимание на материал кабеля при его выборе. Рекомендуется выбирать кабели, способные выдерживать низкие температуры. Рекомендуется внимательно следить за их целостностью и комплектовать полевые бригады запасом кабелей разной длины;

– *кабели передачи данных;*

– *карты памяти и внешние накопители данных.* Объемы записываемых данных СН могут переполнять внутреннюю память приемников.

Кроме того, стоимость геодезической информации очень высока, поэтому рекомендуется выполнять резервное копирование данных на несколько независимых внешних накопителей;

– *внешние радиомодемы и антенны к ним*. Мощности внутренних радиомодемов не всегда достаточны для проведения съемки в режиме реального времени (RTK). Такие условия могут возникнуть при съемках в горной или сильно пересеченной местности. В таких случаях пользователям следует приобретать отдельные внешние радиомодемы;

– *парные рации* для обеспечения связи между членами полевых бригад;

– *журналы спутниковых наблюдений*. Необходимый элемент для записи информации об установке ГНСС-антенн на определяемом пункте и выполняемых измерениях;

– *руководство пользователя аппаратуры* и инструкции по проведению геодезических работ.

**К устройствам установки на определяемом пункте** относятся следующие:

– *геодезические вехи, биподы и штативы*;

– *устройства-утяжелители для штативов*. Необходимы для придания устойчивости установке ГНСС-аппаратуры при сильном ветре;

– *крепления контроллеров, аккумуляторных батарей и радиомодемов для устройств, выполненных в раздельном форм-факторе*;

– *устройства принудительного центрирования* для закрепления центров долговременных геодезических пунктов;

– *трегеры и центриры*. Устройства, необходимые для установки ГНСС-аппаратуры на штатив или пункт с принудительным центрированием. Используются для центрирования и горизонтирования ГНСС-аппаратуры над определяемым пунктом;

– *адаптеры-удлинители* для снижения влияния отраженных от установки (штативов, пилонов) сигналов ГНСС.

**К средствам проведения дополнительных измерений** следует отнести:

– *измерительный жезл*. Устройство представляет собой сборную линейку. Позволяет выполнять измерение высоты антенны наклонным спосо-

бом при установке на штатив. Редко поставляется в комплекте ГНСС-приемника;

– *штангенциркуль*. Необходимое устройство для выполнения высокоточного измерения высоты антенны при установке на пункт с устройством принудительного центрирования (например, пункты СГС – спутниковой геодезической сети);

– *рулетки*. Полевые бригады рекомендуется комплектовать рулетками разной длины:

- позволяющими измерять небольшие расстояния с высокой точностью для измерения высоты телескопических вех или измерения высоты антенны при установке на штативе;

- позволяющими измерять расстояния в десятки метров. Такие рулетки требуются для прямой линейной засечки объектов, недоступных для ГНСС-наблюдений. В качестве таких рулеток рекомендуется использовать дальномерные лазерные рулетки с цифровым инклинометром и Bluetooth-модулем. Некоторые контроллеры способны коммуницировать с лазерными рулетками и автоматически выполнять расчеты линейной засечки.

Следует заметить, что для данных устройств нужно проводить метрологическую поверку. В некоторых случаях для съемки точек, недоступных для непосредственных ГНСС-наблюдений, нужно предусматривать возможность засечки с помощью тахеометров. Это требуется для засечки определяемых пунктов с точностью менее сантиметра.

**К средствам хранения и перемещения приборов** следует отнести:

– *защищенные кейсы* для транспортировки поверенной аппаратуры до объекта выполнения геодезических работ (часто поставляются вместе с приемниками);

– *специальные ремни, разгрузки и чехлы* для ручного переноса геодезической аппаратуры и дополнительных устройств. В некоторых случаях геодезистам приходится преодолевать большие расстояния до определяемых пунктов без использования автомобильного транспорта. Поэтому большое значение имеет удобство и безопасность транспортировки тяжелых геодезических устройств (штативов, биподов, модемов, аккумуляторов);

– *специальные рюкзаки* для проведения топографической съемки в режиме RTK с прибором разделенного форм-фактора.

**К средствам электропитания** относятся:

– *зарядные устройства* для внутренних аккумуляторов приемников и контроллеров;

– *резервные аккумуляторные батареи* для ГНСС-приемников и контроллеров;

– *кабели и коннекторы постоянного электропитания* от бытовой электросети;

– *аккумуляторные батареи* для обеспечения необходимой продолжительности сеанса спутниковых наблюдений при планируемой температуре на протяжении сеанса;

– *аккумуляторные батареи* для обеспечения работы *внешних радиомодемов*;

– *автомобильные зарядные устройства*.

**Программы обработки данных.** Для выполнения геодезических работ необходимо офисное программное обеспечение для обработки данных (постобработки). Программное обеспечение на постобработку предоставляется фирмами-поставщиками отдельно от аппаратуры. Формы лицензий и состав опций различаются в зависимости от назначения. Поставщиками предоставляются ежегодные подписки или защищенные USB-ключом однопользовательские лицензии. Потеря USB-ключа провоцирует потерю доступа к программному обеспечению.

### **Задание на лабораторную работу**

1. Определить основные признаки классификации спутниковой аппаратуры. Составить таблицу признаков классификации.

2. Проклассифицировать 3 ГНСС-приемника по выбранным признакам. ГНСС-приемники для классификации перечислены в онлайн-форме порядка выполнения лабораторной работы [4] по номеру варианта студента.

3. Выполнить индивидуальное задание. Подобрать комплект спутниковой аппаратуры для определенного вариантом вида геодезических работ.

**Требования к отчету.** Работа должна быть оформлена согласно СТО СГУГиТ. Шаблон таблицы признаков классификации спутниковой аппара-

туры можно найти в онлайн-форме порядка выполнения лабораторной работы [4].

Для выполнения индивидуального задания требуется придерживаться следующего алгоритма:

1) определить нормативные значения предельных погрешностей для указанного в варианте задания вида работ. Определить предельные расстояния между пунктами (при оформлении отчета требуется указать ссылку на конкретный пункт нормативного документа);

2) определить подходящий для выполнения работ режим спутниковых определений (статика, кинематика, PPP, DGPS);

4) подобрать полный комплект необходимого оборудования для выполнения работ (включая штативы, центрирующие устройства, измерители высоты, контроллеры, программное обеспечение и т. д.);

5) составить смету на оборудование и программное обеспечение.

### **Порядок выполнения работы**

Порядок выполнения работы и исходные данные представлены в специальной онлайн-форме [4].

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите признаки классификации спутниковой аппаратуры.
2. Как определить метрологические характеристики спутниковой аппаратуры?
3. От каких параметров зависит точность определения координат спутниковой аппаратурой?
4. Какими характеристиками должен обладать спутниковый приемник, предназначенный для работы в качестве базовой станции? Перечислите состав оборудования на базовой станции.
5. От каких характеристик зависит стоимость ГНСС-аппаратуры?
6. Какими характеристиками должен обладать спутниковый приемник для работы в качестве ровера? Какие аксессуары ему необходимы?
7. Как следует комплектовать полевую бригаду при подготовке к работам в условиях Крайнего Севера?

8. На что следует обращать внимание при комплектовании бригады для работы в районах с отсутствующей мобильной связью?

### **Библиографический список**

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2-х т. Т. 2. – М. : Картгеоцентр, 2006. – 359 с.

2. Alexander Ustinov – YouTube (А. В. Устинов) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/> (дата обращения: 07.05.2023).

3. Introduction to GNSS. Chapter 9: GNSS applications and equipment [Electronic resource]. – Mode of access: <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/gnss-applications-and-equipment> (accessed: 07.05.2023).

4. Спутниковая аппаратура потребителя. Выбор спутниковой аппаратуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdN7bkUJ11O69i-HMv93H1eWn9BrsQatv4kdTrvTGcin9HPfQ/viewform?usp=sf\\_link&usp=embed\\_facebook](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdN7bkUJ11O69i-HMv93H1eWn9BrsQatv4kdTrvTGcin9HPfQ/viewform?usp=sf_link&usp=embed_facebook) (дата обращения: 07.05.2023).

5. Тахеометр или ГНСС? Выбор геодезического оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=MsxshRIkloY> (дата обращения: 05.05.2023).

6. Как выбрать геодезический приемник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.prin.ru/blog/kak\\_vybrat\\_geodezicheskij\\_priemnik/](https://www.prin.ru/blog/kak_vybrat_geodezicheskij_priemnik/) (дата обращения: 07.05.2023).

7. Как выбрать контроллер за 6 шагов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.prin.ru/blog/kak\\_vybrat\\_kontroller/](https://www.prin.ru/blog/kak_vybrat_kontroller/) (дата обращения: 07.05.2023).

8. Технический комитет по стандартизации ТК 404 «Геодезия и картография» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tc404.ru/> (дата обращения: 05.05.2023).

9. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. Реестр утвержденных средств измерений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4> (дата обращения: 07.05.2023).

10. Choosing a GNSS Receiver: Single-band vs Multi-band Emlid [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.youtube.com/watch?v=qUL16b-SUAc> (accessed: 05.05.2023).

11. GNSS and Related Equipment – UNAVKO Knowledge Base [Electronic resource]. – Mode of access: <https://kb.unavco.org/category/gnss-and-related-equipment/2/> (accessed: 04.05.2023).

## **Лабораторная работа № 3**

### **СПОСОБЫ УСТАНОВКИ АНТЕННЫ И ИЗМЕРЕНИЯ ЕЕ ВЫСОТЫ**

**Время выполнения:** 2 часа аудиторной работы, 3 часа самостоятельной.

**Цель лабораторной работы:** научиться выполнять установку ГНСС-антенны над геодезическим пунктом и измерять ее высоту.

#### **Задачи лабораторной работы:**

1) научиться устанавливать ГНСС-антенну:

– на геодезический пункт с устройством принудительного центрирования;

– геодезический пункт без устройства принудительного центрирования (на штатив);

– геодезическую телескопическую вежу;

2) приобрести навыки записи в журнал сведений об установке ГНСС-антенны.

#### **Перечень обеспечивающих средств:**

– онлайн-форма с описанием порядка выполнения лабораторной работы [2];

– устройства для установки антенн (телескопическая вежа с биподом, штатив, трегеры с центрирующими устройствами, средства измерения высоты антенн, геодезические ГНСС-антенны);

– журналы установки антенны.

Лабораторная работа должна проводиться в аудитории, оборудованной пилонами с устройствами принудительного центрирования.

### **Общие теоретические сведения**

При спутниковых определениях с высокой точностью оцениваются координаты *фазового центра* геодезической антенны. *Фазовый центр* – «фокус» антенны, точка от которой вычисляется расстояние до фазового центра антенны спутника. При ГНСС-измерениях используют точку относимо-

сти (низ крепления антенны, метка на корпусе антенны и др.), положение которой относительно фазового центра антенны определяется производителем либо при специальных исследованиях. Положение фазового центра антенны зависит от частоты сигнала и указывается в описании ГНСС-оборудования.

Сведения о ГНСС-антеннах и их параметрах калибровки можно найти на сайте рабочей группы IGS [10]. Группа занимается формированием, обновлением и совершенствованием специальной базы данных существующих ГНСС-антенн (ANTEX).

На практике геодезистам нужно определять координаты конкретных точек, закрепленных на местности (например, пунктов ГГС). Таким образом, геодезистам необходимо в поле определять параметры связи между центром определяемой точки и фазовым центром геодезической антенны (или точкой относимости). Выполняется это с помощью средств центрирования и измерения высоты антенны. Средства центрирования позволяют совместить плановые координаты центра определяемого пункта с точкой относимости на ГНСС-антенне, а измерение высоты антенны позволяет привести результаты координатных определений к центру геодезического пункта.

Ошибка центрирования или измерения высоты антенны – как правило, основная ошибка геодезиста при выполнении ГНСС-измерений, так как остальные действия автоматизированы. Ошибка может возникнуть и при постобработке, когда неверно указывается тип антенны и метод ее измерения, а также при конвертировании в RINEX-формат, после чего в некоторых случаях значение высоты антенны после конвертации становится равным нулю.

Тип и наименование антенны, метод измерения высоты антенны (вертикально, наклонно, до фазового центра или до какой-либо референцной точки), значение измеренной высоты являются *обязательными* входными параметрами в программах обработки ГНСС-измерений.

Грубые ошибки центрирования и измерения высоты антенны трудно выявить и исправить в процессе обработки измерений. Часто это приводит к необходимости переопределения координат. Повторные наблюдения редко планируются заранее и приводят к удорожанию проектов, так как

определяемые пункты могут находиться в труднодоступных районах, а стоимость аренды геодезического оборудования и командировочных расходов на полевые бригады высока. По этой причине необходимо, чтобы коллективы полевых бригад обладали навыками правильной установки антенны и документирования измерения ее высоты.

**Рекомендации по ведению записи в журналах спутниковых наблюдений.** Для снижения влияния человеческого фактора на процедуру сбора данных полевых измерений рекомендуется следующее.

*Вести подробную запись в программах полевых контроллеров.* Строго относиться к указанию информации об исполнителях проекта, используемом оборудовании и измеренном значении высоты антенны. Выполнять фотографирование установок ГНСС-антенны и не пренебрегать заполнением атрибутивной информации о выполняемых работах в контроллере.

*Вести подробную запись в журнале спутниковых наблюдений.* К сожалению, в программах контроллеров для проведения спутниковых наблюдений нет специального интерфейса для зарисовки элементов установки антенны. Там можно найти поля для ввода измеренного значения высоты и указания способа измерения высоты антенны. На практике используются специальные бумажные журналы, в которых есть отдельный блок для зарисовки деталей измерения высоты антенны. Исполнителю обязательно следует указывать в журнале *тип используемой антенны* и ее инвентарный (серийный) номер. Запись типа используемой антенны является *принципиально важной* при высокоточных спутниковых наблюдениях. ГНСС-приемник не имеет средств автоматической идентификации типа подключенной антенны. Положения фазовых центров антенн разных производителей и моделей различаются и могут достигать величин в несколько сантиметров. Поэтому неопределенность в знании типа использованной при спутниковых наблюдениях антенны внесет систематическую *неисправимую* ошибку в определение координат геодезического пункта.

Рекомендуется *фиксировать в журналах информацию об используемых инструментах* (штативы, измерительные средства), в том числе и *инвентарные номера* конкретных устройств. Образец формы журнала и образец ее заполнения можно найти в форме технологии выполнения лабораторных работ [2].

Рекомендуется установку антенн сопровождать графической схемой:

– разделить установку антенны на последовательность прямолинейных участков, которые можно промерить при помощи измерительных средств с достаточной точностью. Например, при измерениях с помощью рулетки рекомендуется разделять установку на участки, которые можно измерить, не допуская изгибов ленты;

– дать каждому выбранному прямолинейному участку установки символическое обозначение;

– зарисовать установку антенны с указанием выбранных прямолинейных участков и введенных символических обозначений;

– обозначить на схеме точку относимости антенны. Это может быть низ крепления либо специальная метка на корпусе антенны;

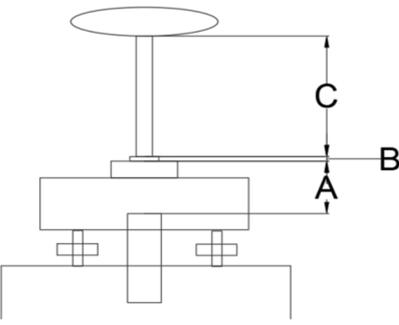
– записать формулу вычисления высоты антенны с использованием выбранных обозначений;

– отдельно записывать все выполняемые измерения выбранных прямолинейных участков. Рекомендуется выполнять измерения прямолинейных участков по несколько раз;

– вычислить высоту антенны по указанной исполнителем формуле и записать ее в журнал спутниковых наблюдений и контроллер ГНСС-аппаратуры (табл. 1).

Таблица 1

Пример схемы измерения высоты установки ГНСС-антенны на пункт с принудительным центрированием

Схема измерения высоты антенны	Результаты измерения высоты антенны	
		Результат, мм
	A	57
	B	2
	C	300
	Формула высоты антенны: $h = A + B + C$	359

## **Задание на лабораторную работу**

Выполнить установку спутниковой аппаратуры:

- на геодезический пункт с устройством принудительного центрирования;
- геодезический пункт без устройства принудительного центрирования (на штатив);
- геодезическую телескопическую вежу.

Выполнить измерение высоты антенн при разных установках. Задокументировать процесс измерения высоты антенны в журнал согласно рекомендациям.

**Требования к отчету.** Работа должна быть оформлена согласно правилам СТО СГУГиТ.

В качестве отчетного материала следует представить журналы установки ГНСС-антенн. Образец журнала можно найти в онлайн-форме описания порядка выполнения лабораторной работы [2].

### **Порядок выполнения работы**

Инструкции по установке антенны для выполнения лабораторной работы представлены в специальной онлайн-форме [2].

### **Контрольные вопросы**

1. Почему требуется вести подробный журнал измерения высоты антенны?
2. Какую информацию рекомендуется заносить в журналы ГНСС-наблюдений?
3. Как рекомендуется составлять графическую схему установки ГНСС-антенны?
4. Каков порядок действий при горизонтировании и центрировании спутниковых антенн над определяемым пунктом?
5. На что следует обращать внимание при определении высоты антенны на геодезической веже?
6. Что такое фазовый центр антенны?

7. Почему необходимо обязательно указывать тип использовавшейся в процессе спутниковых наблюдений геодезической антенны?

8. Каким образом следует выполнять установку антенн постоянно действующих базовых станций на территориях с вечномерзлыми грунтами?

### **Библиографический список**

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2-х т. Т. 2. – М. : Картгеоцентр, 2006. – 359 с.

2. Способы установки ГНСС-антенны и измерения ее высоты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd163jbSSUIdGlfQ58BYpcIPkchSmZDbztmVLe1HDciTvNcuQ/viewform?usp=embed\\_facebook](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd163jbSSUIdGlfQ58BYpcIPkchSmZDbztmVLe1HDciTvNcuQ/viewform?usp=embed_facebook) (дата обращения: 07.05.2023).

3. Геодезия. #1: Центрирование теодолита СГУГиТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=Qga7yOJdYM8> (дата обращения: 05.05.2023).

4. Геодезия. #2: Горизонтирование теодолита СГУГиТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=R8H-p49HybY> (дата обращения: 05.05.2023).

5. ГКИНП (ОНТА)-01-271–03. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. – М. : ЦНИИГАиК, 2003. – 182 с.

6. Правила закрепления центров пунктов спутниковой геодезической сети. – М : ЦНИИГАиК, 2001. – 29 с.

7. UNAVCO Resources: GNSS Antenna Mounts [Electronic resource]. – Mode of access: <http://kb.unavco.org/article.php?id=394> (accessed: 05.05.2023).

8. UNAVCO Resources: GNSS Station Monumentation [Electronic resource]. – Mode of access: <https://kb.unavco.org/article/unavco-resources-gnss-station-monumentation-104.html> (accessed: 05.05.2023).

9. UNAVCO monument record [Electronic resource]. – Mode of access: <https://unavco.knowledgebase.co/assets/63/monument.pdf> (accessed: 05.05.2023).

10. Antenna [Electronic resource]. – Mode of access: <https://igs.org/wg/antenna/#files> (accessed: 05.05.2023).

## **Лабораторная работа № 4**

### **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ДОПОЛНЕНИЯ ГНСС. СЕТИ АКТИВНЫХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ**

**Время выполнения:** 2 часа аудиторных занятий, 3 часа самостоятельной работы.

**Цель лабораторной работы:** приобрести начальные навыки работы с онлайн-службами функциональных дополнений ГНСС.

**Задачи лабораторной работы:**

– научиться получать эфемеридно-временную информацию (ЭВИ) с сервиса международной ГНСС-службы IGS, получать файлы измерений с ГНСС-станций службы IGS;

– приобрести навыки использования каталога службы международной системы координат ITRS;

– научиться получать измерения и координатную информацию с сайта службы фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС) Российской Федерации;

– научиться получать файлы ГНСС-измерений с сайтов коммерческих служб геодезических сетей специального назначения (ГСЧН).

**Перечень обеспечивающих средств:** онлайн-форма с описанием порядка выполнения работы доступна по ссылке [4].

#### **Общие теоретические сведения**

Для выполнения высокоточного позиционирования с использованием ГНСС недостаточно иметь только результаты измерений с приемника на определяемом пункте. Для вычисления координат в государственной или в международной системе нужно получить информацию от служб функциональных дополнений. Дополнения не входят в организационную структуру ГНСС, но активно развиваются и расширяют возможности практического применения ГНСС.

Важнейшим объединением организаций, предоставляющих функциональные дополнения ГНСС, является международная служба IGS (Interna-

tional GNSS-service). IGS к настоящему времени насчитывает более 300 станций слежения за спутниками ГНСС. Служба объединяет постоянно действующие базовые станции в глобальную геодезическую сеть. По результатам обработки ГНСС-измерений станций слежения формируются «продукты IGS», доступные на сайтах организаций-участников службы. К продуктам относятся уточненные эфемериды спутников, сведения о часах спутников, параметры ионосферы и тропосферы, параметры ориентировки Земли. В свободном доступе публикуются координаты и скорости станций слежения, «сырые» файлы измерений со станций слежения, навигационные сообщения и др.

Кроме глобальной сети IGS существуют национальные и региональные сети станций слежения за ГНСС. На территории России действует фундаментальная астрономо-геодезическая сеть постоянно действующих станций ГНСС, предназначенная для реализации государственной системы координат ГСК-2011. Согласно федеральному закону о геодезии, картографии и инфраструктуре пространственных данных, сведения о пунктах ФАГС и координатах, файлы ГНСС-измерений, навигационных сообщений и др. находятся в открытом доступе.

Множество топографо-геодезических, землеустроительных, инженерно-геодезических работ выполняется в режиме кинематики в реальном времени (Real Time Kinematic, RTK) с помощью дифференциальных поправок от базовых станций. В настоящее время постоянно действующие базовые станции (согласно закону о геодезии – дифференциальные геодезические станции) активно развиваются частными и государственными предприятиями как в одиночном, так и в сетевом исполнении, и также относятся к функциональным дополнениям ГНСС.

Для определения координат *относительным методом* можно использовать файлы ГНСС-измерений и навигационных сообщений на пунктах ФАГС или IGS, а также опубликованные координаты этих пунктов. При больших расстояниях между пунктами рекомендуется использование точных эфемерид спутников. Положение определяемых пунктов при этом будет в системе координат, в которой даны опорные пункты (если ФАГС – то система ГСК-2011, если IGS – то ITRF).

Для определения координат методом *точного точечного позиционирования* (Precise Point Positioning, PPP) пользователям необходим дополни-

тельный набор данных. Это файлы точных эфемерид, поправок часов, ионосферных поправок, параметров вращения Земли, параметров антенн. Положения определяемых пунктов в этом случае будут в той же системе координат, в которой заданы положения спутников, и отнесены к моменту измерений. Приведение результатов к опорной эпохе выполняется с учетом скоростей пунктов, которые публикуются на сайтах соответствующих служб функциональных дополнений.

Файлы служб функциональных дополнений хранятся на серверах в формате RINEX. Доступ к координатам станций предоставляется либо через онлайн-таблицу, либо через специализированные онлайн-сервисы с графическим пользовательским интерфейсом [8]. Организация данных в каталогах и интерфейсы доступа могут быть непривычными для пользователя при первом знакомстве. По этой причине в рамках данной лабораторной работы предоставляются подробные инструкции с порядком выполняемых действий на сервисах координатно-временного и навигационного обеспечения.

### **Задание на лабораторную работу**

Получить координаты, ЭВИ, корректирующую информацию и файлы ГНСС-наблюдений с помощью сервисов функциональных дополнений ГНСС:

- файлы ГНСС-наблюдений со станций IGS Новосибирска;
- файл ГНСС-наблюдений со станции ФАГС «Новосибирск»;
- файлы наблюдений с доступных станций ГССН вблизи Новосибирска (на удалении не более 10 км);
- координаты станций IGS и ФАГС на эпоху варианта;
- файлы точных эфемерид, поправок часов, параметры вращения Земли, параметров ионосферы на дату варианта;
- файл параметров ГНСС антенн.

**Требования к отчету.** Работа должна быть оформлена согласно правилам СТО СГУГиТ.

В качестве отчета следует представить таблицу с именами скачанных файлов и пояснениями к ним.

## Порядок выполнения работы

Инструкции к работе представлены в специальной онлайн-форме [4].

### Контрольные вопросы

1. Что такое IGS?
2. Что такое ITRF?
3. Что такое ФАГС?
4. Что такое RINEX?
5. Какую координатно-эфемеридную информацию предоставляет международная ГНСС-служба?
6. Как интерпретировать имена файлов формата RINEX?

### Библиографический список

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2-х т. Т. 2. – М. : Картогеоцентр, 2006. – 359 с.
2. Гуртнер В., Исти Л. RINEX. Аппаратнонезависимый формат обмена навигационными данными. Версия 2.11 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gnss.4du.ru/wp-content/uploads/2016/02/rinex211rus.pdf>.
3. Petit G., Luzum B. IERS Conventions // IERS Technical Note. – № 36. – 2010.
4. Функциональные дополнения ГНСС. Сети активных базовых станций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeHZ7WCpJSzE8YQO1tkd2Zp25o9RnPGPihhm8IVJXzRFz4-5g/viewform?usp=embed\\_facebook](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeHZ7WCpJSzE8YQO1tkd2Zp25o9RnPGPihhm8IVJXzRFz4-5g/viewform?usp=embed_facebook) (дата обращения: 07.05.2023).
5. About [Electronic resource] // International GNSS Service. – Mode of access: <https://igs.org/about/> (accessed: 05.05.2023).
6. Johnston G., Neilan R. International GNSS Service (IGS) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.iag-aig.org/doc/5c9612c548703.pdf> (accessed: 05.05.2023).
7. Центр точных эфемерид RGS-CENTRE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rgs-centre.ru/> (дата обращения: 07.05.2023).
8. International Terrestrial Reference Frame (ITRF) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://itrf.ign.fr/en/homepage> (accessed: 07.05.2023).

## **Лабораторная работа № 5**

### **МЕТОДЫ ГНСС. ОБРАБОТКА СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ RTKLIB**

**Время выполнения:** 6 часов аудиторной работы, 7 часов самостоятельной.

**Цель лабораторной работы:** приобрести начальные навыки обработки и анализа результатов спутниковых измерений.

**Задачи лабораторной работы:** выполнить в программном комплексе RTKLIB обработку данных, полученных в лабораторной работе № 4, различными методами:

- абсолютным (Single);
- относительным (Static);
- PPP (PPP-static).

Для каждого метода спутниковых определений выбрать оптимальное решение за весь сеанс. Проанализировать полученные решения на основе сопоставления длин линий (расстояний) между пунктами спутниковой геодезической сети.

#### **Перечень обеспечивающих средств:**

- онлайн-форма с порядком выполнения лабораторной работы [3];
- файлы спутниковых измерений, ЭВИ, координаты станций IGS и ФАГС, полученные по результатам выполнения лабораторной работы № 4;
- программный комплекс для обработки спутниковых измерений RTKLIB.

#### **Общие теоретические сведения**

Существуют программные комплексы для обработки спутниковых наблюдений, которые могут использоваться на безвозмездной основе. К числу таких комплексов относится RTKLIB. В его составе есть программа с графическим пользовательским интерфейсом, позволяющая выполнять обработку спутниковых измерений различными методами.

Перед началом обработки данных следует убедиться, что все файлы измерений соответствуют одной и той же эпохе, то есть дате варианта. Также следует проверить соответствие даты файлов навигационных сообщений датам измерений. Без этого соответствия невозможно выполнить какую-либо обработку. Далее следует убедиться в том, что все скачанные файлы со служб функциональных дополнений (точных эфемерид, файлы точных часов, модели ионосферы) соответствуют датам спутниковых измерений.

**Показатели решений по результатам обработки спутниковых наблюдений.** В результате обработки спутниковых наблюдений в каждом из методов будет получен текстовый файл формата POS. В этом файле каждая строка после заголовка соответствует оценке координат станции на момент измерения. При анализе файлов с результатами обработки спутниковых измерений нужно обращать внимание на следующие показатели.

**Статус решения.** Присвоенный программой RTKPOST статус решения обозначается в колонке с именем «Q». Если показатель  $Q = 1$ , то программа считает решение фиксированным. Если  $Q = 2$ , то статус оценивается как плавающий. Если  $Q = 5$ , то решение оценивается как навигационное. Статус  $Q = 6$  обозначает решение, полученное методом PPP. Полный перечень обозначений в статусе решения можно найти в конце заголовка файла POS.

**Средняя квадратическая погрешность (СКП).** В файле решения этому показателю соответствуют значения колонок с именами, начинающимися на буквы sd (standard deviation). В зависимости от настроек вывода результатов СКП может рассматриваться в плане и по высоте  $sdn(m)$ ,  $sde(m)$ ,  $sdu(m)$  (на север n, восток e, вверх u) или в экваториальной пространственной системе координат –  $sdx(m)$ ,  $sdy(m)$ ,  $sdz(m)$  (СКП координат X, Y, Z).

Чем меньше СКП по всем компонентам, тем лучше оценивается решение. Данный показатель может вводить в заблуждение пользователей. Получаемое решение в RTKPOST может иметь систематические погрешности, значительно превосходящие СКП. Происходит это потому, что показатель вычисляется по внутренней сходимости решения, то есть без привлечения каких-либо внешних данных для оценки СКП координат.

**Ratio** – показатель степени надежности полученного решения как фиксированного. Чем выше Ratio, тем выше RTKPOST оценивает надежность статуса фиксированного решения. Показатель Ratio вычисляется только в относительном методе обработки ГНСС-измерений.

**Количество наблюдаемых спутников.** Чем больше спутников использовалось в обработке, тем большего доверия заслуживает решение.

**Процент фиксированных решений в относительном методе.** Величина является показателем качества измерений всего сеанса. Высокий процент фиксированных решений характеризует измерения с положительной стороны. Если процент близок к 100, то можно предполагать отсутствие помех ГНСС-наблюдениям. Процент фиксированных решений ниже 90 % может объясняться срывами слежения за фазой сигнала из-за различных помех. Определить предположительные моменты срыва слежения можно по резкому изменению показателя Ratio в меньшую сторону.

**Выбор решения из файла POS.** Алгоритм обработки спутниковых наблюдений в программе RTKPOST предусматривает последовательное уточнение координат с каждым новым измерением. Координаты пункта, оцененные в конце сеанса, должны быть ближе к истинным. Для определения «интегральных» оценок координат за весь сеанс спутниковых наблюдений требуется выбрать только одну строку. Выбор самой последней в файле POS не всегда оправдан из-за вероятности срыва за слежением фазы сигнала в конце сеанса. Для выбора оптимального «интегрального» решения по результатам обработки спутниковых наблюдений необходимо обращать внимание на следующие позиции:

- статус фиксированного решения (для относительного метода);
- наименьшая сумма квадратов СКП по всем компонентам;
- наибольшее значение показателя Ratio (для относительного метода);
- близость строки решения к концу сеанса.

**Анализ полученных решений.** По результатам выполненных лабораторных работ 4 и 5 составляется каталог координат для спутниковой геодезической сети (неуравненной) с оценкой точности. В составе этого каталога должны находиться координаты, полученные:

- с сайта ITRF (для пунктов IGS) и сайта ФАГС (для пунктов ФАГС) (лабораторная работа № 4) в качестве контрольных значений;

- с помощью абсолютного метода спутниковых определений (single);
- с помощью относительного метода спутниковых определений (static), компонентов базовых линий;
- с помощью метода PPP (PPP-static).

По всем полученным координатам необходимо вычислить длины линий между пунктами геодезической сети. Для всех решений следует выполнить анализ полученных оценок координат и СКП. Для анализа требуется опираться на следующие тезисы:

- наибольшим доверием должны обладать длины, вычисленные по координатам из каталога ITRF. Координаты, полученные службой ITRF, представляют собой решения за весь период существования пункта IGS. То есть координаты, полученные с каталога ITRF, представляют собой результат анализа «интегральных» решений на основе сотен сеансов суточных наблюдений;

- наименьшим доверием должны обладать длины, полученные из абсолютного метода спутниковых определений, так как метод позволяет оценивать координаты с погрешностью в диапазоне от нескольких метров до нескольких десятков метров;

- разница длин линий, полученных из решения RTKPOST с длинами линий из каталога ITRF, должна укладываться в доверительный интервал, определяемый удвоенной СКП. Это свойство следует проверить для всех трех методов спутникового позиционирования. СКП вычисляется по сумме квадратов среднеквадратических погрешностей в плане и по высоте. СКП в плане и по высоте должны соответствовать значениям, полученным из выбранной строки решения файла POS. СКП длины линии, вычисленной по решениям из абсолютного метода и PPP, должна оцениваться по СКП оценок координат станций, образующих линию. Если разница длин укладывается в удвоенную СКП, то оценку координат и точности можно считать адекватной.

### **Задание на лабораторную работу**

Выполнить обработку спутниковых наблюдений тремя методами с помощью программы RTKPOST:

- абсолютным методом (single);

- относительным методом (static);
- PPP (PPP-static).

Выбрать оптимальные решения для каждого сеанса и метода спутниковых наблюдений. Выполнить анализ полученных решений.

**Требования к отчету.** Работа должна быть оформлена согласно правилам СТО СГУГиТ.

В качестве отчета следует представить заполненные таблицы результатов обработки. Образцы таблиц приведены в онлайн-форме [3].

### **Порядок выполнения работы**

Инструкции к обработке спутниковых измерений в комплексе RTKLIV и порядок выполнения лабораторной работы представлены в специальной онлайн-форме [3].

### **Контрольные вопросы**

1. По какому принципу следует выбирать решения из файла POS для неподвижной станции ГНСС-наблюдений?
2. Как выполнять анализ результатов ГНСС-наблюдений?
3. Что такое средняя квадратическая погрешность?
4. Что такое маска по высоте? Как ее изменение влияет на оценку координат в относительном методе и PPP?
5. Что такое базовая линия и как вычислить ее длину?
6. Как обработать результаты ГНСС-наблюдений относительным методом в комплексе RTKLIV?
7. Как обработать результаты ГНСС-наблюдений в комплексе RTKLIV методом PPP?
8. Что такое абсолютный метод спутникового позиционирования?
9. Что такое относительный метод спутникового позиционирования?
10. Что такое метод спутникового позиционирования PPP?

## Библиографический список

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2-х т. Т. 1. – М. : Картгеоцентр, 2005. – 334 с.
2. Гуртнер В., Исти Л. RINEX. Аппаратнонезависимый формат обмена навигационными данными. Версия 2.11 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gnss.4du.ru/wp-content/uploads/2016/02/rinex211rus.pdf>.
3. Методы ГНСС. Обработка спутниковых измерений в программном комплексе RTKLIV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfBI597M4PD43m4DKEl8h0tgnog17HEwo2fpZ6\\_SyPl396Eg/viewform?usp=embed\\_facebook](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfBI597M4PD43m4DKEl8h0tgnog17HEwo2fpZ6_SyPl396Eg/viewform?usp=embed_facebook) (дата обращения: 07.05.2023).
4. Rtklibexplorer – Exploring precision GPS/GNSS with RTKLIV open source software and low-cost GNSS receivers [Electronic resource]. – Mode of access: <https://rtklibexplorer.wordpress.com/> (accessed: 05.05.2023).
5. Аббакумов В. Анализ данных на Python в примерах и задачах. Ч. 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.youtube.com/playlist?list=PLlb7e2G7aSpRb95\\_Wi7lZ-zA6fOjV3\\_17](https://www.youtube.com/playlist?list=PLlb7e2G7aSpRb95_Wi7lZ-zA6fOjV3_17) (дата обращения: 07.05.2023).
6. Куприянов А. О., Морозов Д. А. Позиционирование по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем в относительном : учеб.-метод. пособие. – М. : МИИГАиК, 2010. – 48 с.
7. Липатников Л. А. Метод высокоточного позиционирования Precise Point Positioning [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.youtube.com/watch?v=hNUbis1H6j0&ab\\_channel=AlexanderUstinov](https://www.youtube.com/watch?v=hNUbis1H6j0&ab_channel=AlexanderUstinov) (дата обращения: 06.05.2023).
8. Падве В. А. Математическая обработка и анализ результатов геодезических измерений. В 2 ч. Ч. 1. Основы теории погрешностей измерений и фундаментальные алгоритмы точностной МНК-оптимизации результатов измерений : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 163 с.
9. Падве В. А. Элементы теории вероятностей и математической статистики : учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2013. – 208 с.

10. Дифференциальные методы ГНСС и RTKlib : учеб. пособие / Д. А. Трофимов, С. Д. Петров, С. С. Смирнов, Е. В. Волков. – СПб. : СПбГУ, 2023. – 29 с.

11. Takasu T. RTKLIB ver. 2.4.2 Manual [Electronic resource]. – Mode of access: [https://www.rtklib.com/prog/manual\\_2.4.2.pdf](https://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.2.pdf) (accessed: 05.05.2023).

12. Гиенко Е. Г., Антонович К. М., Липатников Л. А. Применение глобальных спутниковых навигационных систем в геодезии и навигации : практикум. – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – 101 с.

## **Лабораторная работа № 6**

### **ОБРАБОТКА СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В КОММЕРЧЕСКОМ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ**

**Время выполнения:** 4 часа аудиторной работы, 5 часов самостоятельной.

**Цель лабораторной работы:** приобрести навыки обработки спутниковых геодезических сетей (СГС) в коммерческом программном обеспечении относительным методом спутникового позиционирования.

#### **Задачи лабораторной работы:**

– научиться обрабатывать спутниковые наблюдения относительным методом в программном обеспечении South Geomatic Office (SGO);

– научиться выполнять минимально ограниченное уравнивание локальной спутниковой геодезической сети в программном обеспечении SGO.

#### **Перечень обеспечивающих средств:**

– онлайн-форма с описанием порядка выполнения лабораторной работы [1];

– условно-бесплатное ПО SGO;

– файлы спутниковых наблюдений и бортовых эфемерид из лабораторной работы № 4.

### **Общие теоретические сведения**

Процедура уравнивания спутниковой геодезической сети отсутствует в программном комплексе RTKLIV. При этом уравнивание является необходимым элементом геодезических определений. Инженер-геодезист не сможет передать результаты выполненных работ заказчику или в фонд пространственных данных без уравнивания и оценки точности.

**Зачем нужна процедура уравнивания?** Уравнивание в геодезии необходимо для оценки наиболее достоверных значений определяемых величин (например, координат пунктов и превышений), а также оценки их

точности. Все измерения отягощены ошибками. Ошибки могут быть грубыми, систематическими и случайными.

Случайные ошибки являются неотъемлемой частью любого измерения. Они имеют важное свойство: около 68 % значений укладываются в интервал одной СКП, около 95 % значений укладываются в интервал двух СКП и 99,7 % – в интервал трех. Компенсация влияния случайных ошибок на оценку координат достигается за счет использования метода наименьших квадратов в процедуре уравнивания.

Грубая ошибка (выброс) может характеризоваться отклонением от среднего на величину, превосходящую утроенную СКП. Выбросы в измерениях требуется выявлять и устранять до процедуры уравнивания. Примером источника грубой ошибки в измерениях при построении СГС является неправильное измерение высоты антенны.

Систематической погрешностью называют неизвестную величину, которая смещает оценки координат на постоянное значение. Оценки координат из ГНСС-наблюдений могут характеризоваться малой СКП (следовательно, хорошим качеством), но при этом быть смещенными относительно истинных значений. Например, вектора базовых линий всех станций спутниковой сети могут быть сдвинуты и повернуты относительно истинного (неизвестного) положения. Устранить систематические ошибки в оценках координат пунктов спутниковой геодезической сети можно за счет использования ограниченного уравнивания, в котором фиксируются координаты исходных пунктов СГС. Подробнее процедура уравнивания изучается в курсе «Современные геодезические методы создания государственной координатной основы».

Таким образом, геодезист может допустить грубые, систематические и случайные ошибки в оценке координат пунктов, если не станет проводить уравнивание в сети и анализ полученных результатов.

**Зависимые базовые линии и уравнивание.** В геодезии уравнивание выполняется в замкнутых построениях, например, в замкнутых нивелирных и полигонометрических ходах. Замкнутые геодезические сети позволяют определять величины невязок. Эта информация дает возможность проводить анализ данных и, следовательно, повышать надежность оценки координат пунктов. Однако в замкнутых спутниковых геодезических сетях,

создаваемых относительным методом, невозможно вычислить невязки по синхронным сеансам.

Проблема состоит в следующем. Пусть имеются суточные сеансы спутниковых наблюдений на станциях NSK1, NVSK, NOVМ. Пусть все сеансы выполнены в один и тот же день и одно и то же время. В процессе обработки измерений с СГС относительным методом можно получить 3 базовые линии: NSK1 – NVSK, NSK1 – NOVМ, NVSK – NOVМ. В этой спутниковой геодезической сети независимыми будут только 2 базовые линии, например, NSK1 – NVSK, NSK1 – NOVМ. Базовая линия NVSK – NOVМ будет являться *зависимой* от двух других. Это означает, что базовая линия NVSK – NOVМ из обработки относительным методом будет близкой по значению к базовой линии, вычисленной по координатам линий NSK1 – NVSK, NSK1 – NOVМ. То есть включение линии NVSK – NOVМ в состав геодезической сети не приносит новой измерительной информации. Таким образом, близкое к нулю значение невязки является проявлением наличия в спутниковой сети зависимой базовой линии.

Если допускать в процедуре уравнивания СГС только сеансы синхронных измерений, то возникнет риск неадекватной оценки координат определяемых пунктов. Величина вычисленной невязки будет мнимой. Для корректного уравнивания в спутниковой геодезической сети необходимо образовать как минимум одну базовую линию из другого сеанса наблюдений. Подробнее процедура уравнивания спутниковых геодезических сетей и проблема зависимых базовых линий рассмотрена в курсе «Современные геодезические методы создания государственной координатной основы».

### **Задание на лабораторную работу**

1. Установить программное обеспечение SGO. Создать и настроить в программе рабочий проект.

2. Подготовить и импортировать в программное обеспечение SGO файлы измерений и навигационных сообщений для спутниковой геодезической сети на дату варианта.

3. Выполнить обработку базовых линий и зафиксировать координаты одной из станций в целях подготовки к минимально ограниченному уравниванию. Для фиксации координат необходимо внести в ПО SGO координаты одной станции, полученные из каталога ITRF.

4. Выполнить уравнивание спутниковой геодезической сети. Выполнить анализ полученных результатов уравнивания.

**Требования к отчету.** Работа должна быть оформлена согласно правилам СТО СГУГиТ.

В качестве отчета следует представить заполненную итоговую таблицу результатов обработки. Образец таблицы можно найти в онлайн-форме [1].

К отчету по лабораторной работе следует приложить отчет об уравнивании из ПО SGO.

### **Порядок выполнения работы**

Инструкция по установке, настройке, обработке БЛ и уравнивании в ПО SGO для выполнения работы представлены в онлайн форме [1].

### **Контрольные вопросы**

1. Зачем нужна процедура уравнивания при развитии геодезических сетей?
2. Что такое зависимые и независимые базовые линии в составе СГС?
3. Как выполнить уравнивание спутниковых геодезических сетей в коммерческом ПО?
4. Как получить плоские уравненные координаты пунктов геодезической сети в МСК?

### **Библиографический список**

1. Обработка спутниковых измерений в коммерческом программном обеспечении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSenjU9pMHLd6nKLR21vHz1aYspDNPZ5qr6i-rpqO8Xp-kGGrw/viewform?usp=embed\\_facebook](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSenjU9pMHLd6nKLR21vHz1aYspDNPZ5qr6i-rpqO8Xp-kGGrw/viewform?usp=embed_facebook) (дата обращения: 07.05.2023).
2. Афонин К. Ф. Высшая геодезия. Системы координат и преобразования между ними : учеб. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 112 с.
3. Падве В. А. Математическая обработка и анализ результатов геодезических измерений. В 2 ч. Ч. 1. Основы теории погрешностей измерений и фундаментальные алгоритмы точностной МНК-оптимизации результатов измерений : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 163 с.

4. SOUTH Geomatics Office. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.geodetika.ru/wa-data/public/site/instructions/software\\_post/south\\_geomatics\\_office/manual\\_sgo.pdf](https://www.geodetika.ru/wa-data/public/site/instructions/software_post/south_geomatics_office/manual_sgo.pdf) (дата обращения: 06.05.2023).

## **Лабораторная работа № 7**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ В СИСТЕМЕ ITRS**

**Время выполнения:** 4 часа аудиторной работы, 5 часов самостоятельной.

**Цель лабораторной работы:** приобрести навыки определения координат базовой станции в системе ITRS.

**Задачи лабораторной работы:**

– выполнить запись ГНСС-измерений в реальном времени с учебной базовой станции;

– определить координаты учебной базовой станции в системе ITRS с помощью программного обеспечения SGO путем минимально ограниченного уравнивания СГС.

**Перечень обеспечивающих средств:**

- онлайн-форма с описанием порядка выполнения работы [2];
- учебная постоянно действующая базовая станция NSKN;
- свободный программный комплекс RTKLIB;
- условно-бесплатное ПО SGO;
- результаты спутниковых наблюдений с ФАГС, федеральной сети геодезической станций, ГССН.

#### **Общие теоретические сведения**

**Формат RTCM.** Относительный метод спутникового позиционирования может выполняться в режиме реального времени. Благодаря этому пользователи могут определять координаты местоположения подвижного приемника (ровера) с сантиметровой точностью «в поле». Метод определения координат подвижного приемника известен под иностранной аббревиатурой RTK (Real time kinematic). Для осуществления RTK пользователь должен получать спутниковые измерения со второго приемника (базовой станции), установленного на точке с известными координатами. Для пере-

даци спутниковых измерений и координат с базовой станции на ровер существуют специальные форматы. Наиболее распространенным является формат RTCM (на момент публикации – версии 3.0). Он поддерживается спутниковой аппаратурой большинства современных производителей. С помощью данного формата с базовой станции может передаваться (в зависимости от потребности пользователей) следующий набор данных:

- кодовые ГНСС-измерения;
- фазовые ГНСС-измерения на всех частотах, для всех существующих спутниковых систем;
- координаты базовой станции;
- навигационные сообщения всех ГНСС.

Базовая станция может передавать необходимые данные в формате RTCM через различные коммуникационные протоколы и стандарты связи, например, TCP, UDP, MQTT, NTRIP, COM.

**Протокол NTRIP** предназначен для передачи координатно-временной и навигационной информации через интернет. Является специализированным протоколом. Поставщики корректирующей информации могут через специальные сервисы (кастеры) передавать пользователям:

- потоки ГНСС-измерений и эфемерид в различных форматах, включая в формат RTCM;
- потоки ГНСС-измерений с различных базовых станций;
- потоки ГНСС-измерений с различной частотой (темпом измерений).

**В протоколе NTRIP предусмотрены следующие роли:**

- клиент (потребитель корректирующей информации, ровер);
- сервер (источник данных, базовая станция, сервис предоставления корректирующей информации);
- кастер (посредник, связывающий клиента с различными серверами, базовыми станциями).

Следовательно, пользователю для получения корректирующей информации необходимо подключиться к кастеру NTRIP. Доступ к кастеру селективный, то есть пользователю для доступа нужна учетная запись. Пользователь может получить ее при регистрации на сайте сервиса. Таким образом, пользователю нужно иметь следующий набор сведений о подключении:

- IP-адрес сервиса (host);
- номер порта (port);
- имя учетной записи пользователя (username);
- пароль учетной записи (password).

Для подключения к конкретному потоку данных с какой-либо конкретной базовой станции пользователю необходимо вводить идентификатор потока, то есть его уникальное имя. Для ввода уникального имени потока информации служит параметр точки доступа (mountpoint). Ввод параметров подключения пользователь выполняет в специальном программном обеспечении контроллера спутниковых приемников. Подключиться к базовым станциям с целью записи потока измерений можно через специальное программное обеспечение STRSVR из комплекса RTKLIB.

### **Задание на лабораторную работу**

1. Подключиться к учебной базовой станции NSKN по протоколу NTRIP с использованием программного модуля STRSVR.
2. Выполнить запись измерений с учебной базовой станций NSKN в течение нескольких часов.
3. Выполнить преобразование файла из формата RTCM в формат RINEX.
4. Подготовить данные со станций ФАГС, IGS для создания малой спутниковой геодезической сети.
5. Выполнить обработку базовых линий и уравнивание спутниковой геодезической сети в программном обеспечении SGO. Получить координаты станции NSKN в системе ITRS путем уравнивания СГС.
6. Выполнить оценку точности определения координат пункта NSKN и проанализировать результаты спутниковых определений.

**Требования к отчету.** Работа должна быть оформлена согласно правилам СТО СГУГиТ.

Обучающемуся следует представить отчеты об уравнивании из ПО SGO. Также следует предоставить заполненную таблицу анализа координат, образец которой доступен в онлайн-форме задания [2].

## **Порядок выполнения работы**

Инструкция по подключению к базовой станции, записи и конвертации данных приведена в онлайн-форме [2].

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое RTCM?
2. Для чего предназначен протокол NTRIP?
3. Как записать ГНСС-измерения с постоянно действующей базовой станции в память компьютера?
4. Как определить координаты ГНСС-станции в системе ГСК-2011 согласно нормативным требованиям?
5. Как определить координаты пункта ФАГС в системе ГСК-2011 на эпоху наблюдений?
6. Как оценить качество спутниковых наблюдений по итогам обработки и уравнивания?

### **Библиографический список**

1. Chen, R., Li X., Weber G. Test Results of an Internet RTK System Based on the NTRIP Protocol [Electronic resource]. – Mode of access: [https://igs.bkg.bund.de/root\\_ftp/NTRIP/documentation/Chen\\_GNSS2004.pdf](https://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/documentation/Chen_GNSS2004.pdf).
2. Определение координат базовой станции в системе ITRS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd04lsyrfMOljAY-qJlorJide7zCaxx2ruFBflgvwtX5H1Tgg/viewform?usp=embed\\_facebook](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd04lsyrfMOljAY-qJlorJide7zCaxx2ruFBflgvwtX5H1Tgg/viewform?usp=embed_facebook) (дата обращения: 07.05.2023).

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8**

### **СЪЕМКА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ (RTK)**

**Время выполнения:** 4 часа аудиторной работы, 5 часов самостоятельной.

**Цель лабораторной работы:** приобрести навыки работы со спутниковой аппаратурой в режиме Real Time Kinematic (RTK).

#### **Задачи лабораторной работы:**

- выполнить топографическую съемку ограниченной территории при помощи спутниковой аппаратуры в режиме RTK;
- выполнить вынос в натуру (разбивку) произвольной линии с помощью спутниковой аппаратуры в режиме RTK;
- экспортировать результаты съемки с контроллера ГНСС-приемника;
- импортировать данные топографической съемки и разбивки в программу Google Earth Pro;
- проанализировать результаты выполненных работ.

#### **Перечень обеспечивающих средств:**

- онлайн-форма с порядком выполнения лабораторной работы [2];
- комплект ГНСС-аппаратуры с биподом и рулеткой;
- учебная постоянно действующая базовая станция NSKN;
- свободное программное обеспечение Google Earth Pro;
- программное обеспечение для контроллеров ГНСС-аппаратуры CUBE-A.

### **Общие теоретические сведения**

**Режим RTK.** ГНСС-аппаратура позволяет выполнять позиционирование с сантиметровой точностью в режиме реального времени Real Time Kinematic (RTK). Достигается сантиметровая точность с помощью дифференциального метода спутникового позиционирования (static) при фазовых измерениях. Так же, как и для относительного метода, в RTK требуется выполнять синхронные измерения на подвижном приемнике (ровер, rover)

и базовой станции (база, base), а для быстрого получения решения «в поле» нужно обеспечить передачу измерений с базовой станции на ровер. Обработка спутниковых измерений и решение навигационной задачи (как в RTKLIV) выполняется в программном обеспечении, встроенном в подвижный приемник. На входе программы пользователю требуется настроить подключение к потоку данных спутниковых измерений с базовой станции, ввести координаты базовой станции, настроить систему координат, ввести высоту антенны. На выходе (в процессе съемки) пользователь получает оценки координат, ошибок координат и показатели качества наблюдений. Таким образом, метод RTK наследует все преимущества и недостатки относительного метода. Метод доступен только для фазовой спутниковой аппаратуры с поддержкой возможности RTK (иногда поддержка RTK является отдельной платной опцией ГНСС-аппаратуры).

**Настройка подключения к базовой станции.** Существует множество способов передачи данных спутниковых наблюдений с базовой станции на ровер в режиме реального времени. На практике используется следующие:

- через пользовательский радиомодем (в условиях отсутствия мобильного интернета);
- через мобильный интернет по протоколу NTRIP.

Перечень необходимой информации для подключения к базовой станции по протоколу NTRIP описан в общих теоретических сведениях к лабораторной работе № 7. Для того чтобы передавать данные с помощью радиомодемов, необходимо иметь поддержку соответствующего режима работы со стороны ГНСС-приемника. Приемники со встроенным радио часто дороже приемников без указанного режима. Пользователю требуется выполнять конфигурирование как роверного, так и базового приемника, учитывать функциональные возможности встроенных или внешних радиомодемов, а также условия передачи сигналов; то есть требуется искать компромисс между дальностью передачи данных и мощностью передатчика на базовой станции (учитывая правовые ограничения на мощность передатчиков). Установка связи между ровером и базой выполняется по трем настраиваемым параметрам: частота несущей сигнала, номер используемого канала и протокол передачи данных. Необходимо назначить одинаковый набор параметров как на базовой, так и на роверной станции.

**Запись данных съемки в режиме RTK.** К процедуре топографической съемки можно приступить после того, как будет выполнена настройка режима RTK. Для настройки режима требуется выполнить следующие действия:

- настройка проекта (ввод данных об исполнителе, оборудовании, проекте, настройка системы координат и проекции);
- настройка подключения к базовой станции;
- ввод координат базовой станции;
- проверка статуса приема сигнала с базовой станции и спутников ГНСС.

Последнее действие подразумевает определение наличия приема сигнала со спутников ГНСС и статуса навигационного решения как фиксированного. В программе CUBE-A эту процедуру можно выполнить в режиме «GPS статус». При отсутствии статуса фиксированного решения рекомендуется перепроверить настройки подключения к базовой станции.

Съемка реального времени в режиме RTK ведется в специальном режиме в программе для контроллеров. В программном обеспечении CUBE-A запись данных ведется в режиме «Съемка точек».

Для записи в память контроллера данных съемки следует в режиме записи нажать на соответствующую кнопку. В процессе записи пользователю требуется дополнительно вводить имя (идентификатор) съемочной точки, высоту ГНСС-антенны, способ измерения высоты антенны и код классификации. Код классификации является важным элементом файла результатов съемки. Он позволяет реализовывать процедуру полевого кодирования, а впоследствии автоматическую отрисовку топографического плана.

Для выноса точек (или линий) в натуру существует специальный режим в контроллере. Процедура выноса точек состоит из следующих этапов:

- настройка режима RTK;
- загрузка координат точек и линий, подлежащих выносу в память контроллера;
- активация режима выноса точек или линий, выбор текущих точек (линий) для выноса;
- определение местоположения точки выноса по расстоянию и азимуту направления;

– контроль выноса точек с помощью промеров рулеткой.

В ходе выполнения записи данных топографической съемки и выноса точек пользователю доступны для отслеживания следующие показатели:

- наличие статуса фиксированного решения;
- оценка СКП определения координат точки (внутренняя сходимость);
- количество участвующих в определении местоположения спутников;
- величина геометрического фактора снижения точности;
- возраст поправок с базовой станции (задержка передачи данных измерений с базовой станции в секундах).

Наилучших оценок координат пользователю следует ожидать при наименьшем значении СКП, наибольшем количестве наблюдаемых спутников и наименьшей величине геометрического фактора. Параметр возраста поправок характеризует качество передачи данных с базовой станции на ровер. Для обеспечения наилучшего качества позиционирования следует обеспечивать минимальное значение задержки данных с базовой станции. Для этого следует выдерживать уверенное качество приема сигнала с базовой станции. Также пользователю требуется отслеживать и фиксировать любые изменения высоты вехи в процессе съемки и выноса точек в натуру.

Пользователям рекомендуется (по возможности) при выполнении съемки в режиме RTK параллельно выполнять запись файлов измерений. Это позволит впоследствии выполнять анализ результатов съемки и постобработку. Так, появится возможность выполнять обработку результатов съемки относительным методом от других базовых станций. К сожалению, не все производители спутниковой аппаратуры предоставляют такую возможность.

Результаты топографической съемки полезно отображать на существующих и доступных публичных картах и ортофотоснимках. Это позволяет отслеживать пропуски объектов съемки, грубые ошибки (выбросы) и систематические ошибки. Таким сервисом может служить Google Earth Pro. Абсолютная погрешность определения координат точек на снимке в системе WGS-84 оценивается величиной 4,38 м для 71,8 % данных актуальной базы данных существующих изображений сервиса [11]; при помощи данного сервиса имеется возможность контроля грубых ошибок. На некоторые тер-

ритории сервис имеет снимки с разрешением до 15 см. Таким образом, при наличии на изучаемой территории снимков высокого разрешения есть возможность контроля относительных ошибок в результатах топографической съемки. Отображение результатов съемки на карте Google Earth возможно и в режиме реального времени (в процессе съемки) при наличии такой опции в программе контроллера ГНСС-аппаратуры.

### **Задание на лабораторную работу**

1. Учебной группе разделиться на бригады в зависимости от количества комплектов ГНСС-аппаратуры.

2. Получить комплект оборудования от преподавателя и задание на выполнение съемки и выноса в натуру.

3. Пройти инструктаж по технике безопасности выполнения топографической съемки в условиях интенсивного автомобильного движения.

4. Настроить рабочий проект программного обеспечения для выполнения съемки в режиме РТК согласно инструкциям из порядка выполнения лабораторной работы.

5. Задать параметры подключения к базовой станции и внести оценки ее координат, полученные в лабораторной работе № 7.

6. Выполнить топографическую съемку и вынос линий в натуру согласно полученному от преподавателя заданию.

7. Экспортировать результаты съемки и выноса в натуру из программного обеспечения спутниковой аппаратуры.

8. Импортировать данные результатов полевых работ в программное обеспечение Google Earth Pro, выполнить оценку точности и анализ результатов съемки и выноса.

При невозможности предоставления преподавателем оборудования (в случае дистанционного формата обучения) съемка выполняется обучающимся методом абсолютного спутникового позиционирования.

**Требования к отчету.** Работа должна быть оформлена согласно правилам СТО СГУГиТ.

Обучающемуся следует представить файлы результатов съемки и выноса точек. Также следует приложить к отчету файл съемки в формате программы Google Earth Pro.

## Порядок выполнения работы

Инструкции по подключению к базовой станции, записи данных и выносу линий и точек представлены в онлайн-форме лабораторной работы [2].

### Контрольные вопросы

1. Что такое RTK?
2. Каков порядок настройки подключения к базовой станции?
3. За какими показателями требуется следить пользователю при выполнении работ методом RTK?
4. Для решения каких производственных задач используется метод RTK?
5. Какие ограничения имеет метод RTK?
6. Каким образом нужно контролировать качество съемки в режиме RTK?
7. Каким образом нужно выполнять съемку объектов, недоступных для непосредственного наблюдения с использованием ГНСС (углы высоких зданий, объекты под навесами и кронами деревьев)?
8. В каких случаях топографическая съемка методом RTK предпочтительнее тахеометрической и фотограмметрической?
9. Как автоматизировать процесс отрисовки планов при топографической съемке?

### Библиографический список

1. Chen R., Li X., Weber G. Test Results of an Internet RTK System Based on the NTRIP Protocol [Electronic resource]. – Mode of access: [https://igs.bkg.bund.de/root\\_ftp/NTRIP/documentation/Chen\\_GNSS2004.pdf](https://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/documentation/Chen_GNSS2004.pdf).
2. Съемка в режиме реального времени (RTK) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdr\\_YKiGco\\_CAwh1D\\_0GSQE-4CaN3pRdxB4Ubhzt2r7vjFNwg/viewform?fbzx=-3128070477612169878&usp=embed\\_facebook](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdr_YKiGco_CAwh1D_0GSQE-4CaN3pRdxB4Ubhzt2r7vjFNwg/viewform?fbzx=-3128070477612169878&usp=embed_facebook) (дата обращения: 07.05.2023).
3. Галиева Е. Кодирование объектов съемки в AutoCAD Civil 3D АМ-КАД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.youtube.com/watch?v=p8y4Nm\\_hFek](https://www.youtube.com/watch?v=p8y4Nm_hFek) (дата обращения: 06.05.2023).

4. Google Earth Pro – A Complete Beginner’s Guide GeoDelta Labs [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.youtube.com/watch?v=3lG1lVZjtg4> (accessed: 06.05.2023).

5. Автоматизация создания топографических планов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=3FyvvdR-YUj0> (дата обращения: 06.05.2023).

6. Part 1 – RTK and Static with a Trimble R8s GNSS Receiver! (TBC Giveaway) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.youtube.com/watch?v=NDmrg91OOa0> (accessed: 05.05.2023).

7. Best Practices for Minimizing Errors during GNSS Data Collection The COMET Program [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.youtube.com/watch?v=KLCDQ8yafY0> (accessed: 05.05.2023).

8. Импорт данных из устройств с GPS – Справка – Google Планета Земля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://support.google.com/earth/answer/148095?hl=ru&ref\\_topic=7184262&sjid](https://support.google.com/earth/answer/148095?hl=ru&ref_topic=7184262&sjid) (дата обращения: 06.05.2023).

9. Cube-A User Manual v4 [Electronic resource]. – Mode of access: [http://www.civilshop.gr/downloads/StonexCube/Cube-a\\_User\\_Manual\\_v4\\_%5BENG%5D.pdf](http://www.civilshop.gr/downloads/StonexCube/Cube-a_User_Manual_v4_%5BENG%5D.pdf) (accessed: 07.05.2023).

10. GPS Data Collection Methods [Electronic resource]. – Mode of access: <http://kb.unavco.org/article.php?id=70> (accessed: 04.05.2023).

11. Wang X., Wang F. The precision of google earth map analysis with the coordinates of IGS stations // ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2020. – Vol. XLII-3/W10. – P. 1053–1056.

*Учебное издание*

**Мареев** Артем Владимирович

**Гиенко** Елена Геннадьевна

# **СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

Редактор *О. В. Георгиевская*

Компьютерная верстка *О. И. Голиков*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 24.10.2023. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 3,37. Тираж 120 экз. Заказ 146.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

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

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ  
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.