

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии

**СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОЛОГИИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

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

Воронеж 2022

УДК 528.7(07)
ББК 26.11я7

Составитель
В. В. Шумейко

Спутниковые системы и технологии позиционирования: методические указания к выполнению курсового проекта для студентов направления подготовки 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» (профиль «Геодезия») всех форм обучения /ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: В. В. Шумейко. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. – 19 с.

Методические указания содержат теоретические сведения, необходимые для написания курсового проекта по заданной теме.

Предназначены для студентов направления подготовки 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» (профиль «Геодезия») всех форм обучения.

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

Ил. 5. Библиогр.: 13.

УДК 528.7(07)
ББК 26.11я7

Рецензент – Т. Б. Харитонова, канд. техн. наук, доц. кафедры кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии ВГТУ

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

ВВЕДЕНИЕ

По направлению 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» учебным планом предусматривается изучение дисциплины «Спутниковые системы и технологии позиционирования».

Цель дисциплины «Спутниковые системы и технологии позиционирования» - обучение студентов проведению спутниковых измерений, устройству спутникового геодезического оборудования, использованию нормативных документов в области спутниковой геодезии, действующих на территории российской федерации..

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

Настоящие методические указания предусмотрены для подготовки курсового проекта по дисциплине «Спутниковые системы и технологии позиционирования».

В настоящее время технологии спутникового позиционирования активно внедряются в разнообразном делопроизводстве, связанном с определением координат. Вместе с тем применение этой технологии для инженерных нужд требует тщательного изучения конкретных обстоятельств. Так, при наличии пунктов государственной геодезической сети в непосредственной близости и открытой местности, создание инженерных геодезических сетей эффективно традиционным способом с применением тахеометров или теодолитов. В то же время при отсутствии вблизи пунктов ГГС вполне целесообразно применение технологии спутникового позиционирования.

Очевидно, что за многовековой опыт при топографических работах широко использовались инженерные геодезические приборы, которые с течением времени совершенствовались от простейших приспособлений до современного оборудования. Исходя из сложных климатических и ландшафтных условий, возникают особые требования к проектированию и строительству зданий и сооружений изучаемого объекта, а также к построению геодезической сетки. В этой связи актуальной представляется задача применения технологии спутникового позиционирования для сгущения ГГС и обеспечения геодезической основы при строительстве.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ»

1. Тема: Подготовка данных для проектирования геодезической сети спутниковыми методами.

2. Исходные данные

1. Район планируемого производства работ.
2. Сроки проведения работ.
3. Компьютерная программа, с помощью которой необходимо произвести планирование спутниковых измерений.

3. Краткое содержание курсового проекта

Введение

1. Глобальные навигационные спутниковые системы и технологии.
2. Характеристика района работ.
3. Программа геодезических работ для создания геодезической сети спутниковыми методами.
4. Техника безопасности при проведении топографо-геодезических работ.
5. Заключение.

4. Перечень графического материала

1. Графики DOP.
2. Графики возвышения спутников.
3. Графики количества спутников.
4. Графики видимости спутников.
5. Графики ионосферной активности.

1. ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Спутниковые системы, используемые в ГНСС измерениях

Глобальная навигационная спутниковая система (Global Navigation Satellite System - GNSS) - это спутниковые системы, используемые для определения местоположения в любой точке земной поверхности с применением специальных навигационных или геодезических приемников. GNSS-технологии успешно применяются в тех областях, где необходима точная информация о пространственном положении объектов на Земле, их размерах и изменении геометрических параметров во времени.

ГНСС в том виде, в котором они существуют и используются сейчас, зародились в начале 1970-х годов, когда Советский Союз и США практически в одно время начали разработку глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. В настоящее время каждая из этих систем имеет на орбите полноценную орбитальную группировку навигационных космических аппаратов, которые обеспечивают предоставление услуг в глобальном масштабе.

История создания Global Positioning System (GPS) ведёт своё начало с 1973 г., когда Управление совместных программ, входящее в состав Центра космических и ракетных исследований США, получило указание Министер-

ства обороны США разработать, испытать и развернуть навигационную систему космического базирования. Результатом данной работы стала система, получившая первоначальное название NAVSTAR (NAVigation System with Time And Ranging), из которого прямо следовало, что система предназначена для решения двух главных задач – навигации, т. е. определения мгновенного положения и скорости потребителей, и синхронизации шкал времени. Поскольку инициатором создания GPS являлось Министерство обороны США, то в качестве первоочередных задач предусматривалось решение задач обороны и национальной безопасности. Отсюда ещё одно раннее название системы – оборонительная система спутниковой навигации (Defense Navigation Satellite System – DNSS).

Штатная орбитальная группировка GPS состоит из 32 основных космических аппаратов, расположенных на 6 круговых орбитах. Дополнительно на некоторых орбитах может находиться один или два резервных космических аппаратов, предназначенных для сохранения параметров системы при выходе из строя основных космических аппаратов. Высоте орбит 20 200 км соответствует период обращения 11 ч 58 мин, т. е. орбиты космических аппаратов GPS являются синхронными.

ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система) стала разрабатываться в СССР также, как и GPS, в середине 70-х гг. и в 1993 г. была официально принята в эксплуатацию министерством обороны РФ.

Система ГЛОНАСС создавалась с начала 70-х годов большой кооперацией научных гражданских и военных организаций. Первые космические аппараты серии ГЛОНАСС («Космос-1413», «Космос-1414», «Космос-1415») были выведены на орбиты 12 октября 1982 года. Запуск осуществляется ракетносителями «Протон» с космодрома Байконур. В декабре 1995 года было завершено полное развёртывание орбитальной группировки системы ГЛОНАСС, что позволило создать сплошное глобальное навигационное поле вплоть до высот 2000 км. Несущая частота сигналов составляла около 150 МГц (позже добавлена вторая несущая 400 МГц), использовалось частотное разделение сдвигом на 30 кГц. Эволюция спутников системы ГЛОНАСС: Ураган, Ураган-М, Ураган-К.

К 2001 году число спутников из-за недостатка финансирования и выхода части из них из строя сократилось до шести. В 2010 году число спутников ГЛОНАСС увеличили до 26, основными являются 24, остальные резервные.

В настоящий момент в системе ГЛОНАСС насчитывается 29 космических аппаратов, из которых 24 используются по целевому назначению, один — на этапе лётных испытаний, один — на этапе ввода в систему, три — в орбитальном резерве.

В течение ближайших лет Европейский Союз (EU) и Европейское космическое агентство (ESA) планируют ввести в эксплуатацию новую европейскую глобальную спутниковую навигационную систему Galileo («Галилео»). Существование еще одной рабочей спутниковой системы GNSS обе-

щает значительную выгоду для гражданских потребителей по всему миру. Запуск проекта Galileo позволит увеличить более чем в два раза количество рабочих навигационных спутников, доступных пользователям. Подобное увеличение количества спутников принесёт пользу не только при работе в автономном режиме, но и улучшит качество определения координат и способность GPS-аппаратуры разрешать неоднозначность по фазе несущей для отслеживаемого спутникового сигнала.

Спутниковая навигационная система Beidou – китайская спутниковая система навигации, состоящая из двух отдельных групп спутников. Первая группа Бэдоу-1, официально названная как Экспериментальная спутниковая навигационная система, была запущена в 2000 году в ограниченном тестовом режиме и состояла только из трех спутников. Вторая группа Бэйдоу-2, также известная как COMPASS, находится в стадии создания, которое предполагается завершить к 2020 году.

Бэйдоу-2 была запущена в коммерческую эксплуатацию 27 декабря 2012 года, как навигационная система для Азиатско-Тихоокеанского региона. Из выведенных на орбиту 16-ти спутников, задействованы 11, а остальные 5 выполняют резервную функцию. Количество спутников будет увеличиваться вплоть до 2020 года и когда система заработает в полную мощность, начнется её использование по всей Земле.

Система IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System — Индийская региональная навигационная спутниковая система), также известная Система NAVIC (Navigation with Indian Constellation— Навигация с использованием индийской системы спутников), предназначена для того, чтобы оказывать с высокой точностью навигационные услуги пользователям в Индии.

Штатная орбитальная группировка индийской региональной навигационной спутниковой системы IRNSS (NAVIC) состоит из 7 КА. Конфигурация группировки позволяет осуществлять координатно-временное и навигационное обслуживание зоны в пределах 40° в.д. - 125° в.д. и 40° ю.ш. - 40° с.ш. Таким образом, зона покрытия системы IRNSS (NAVIC) включает в себя всю материковую часть Индии и территорию, простирающуюся на 1500 км за ее пределами, в том числе большую часть бассейна Индийского океана.

1.2. Методы и режимы измерений спутниковой аппаратуры

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.3 Учет ошибок измерений и методы ослабления их влияния

При отработке методов высокоточных спутниковых измерений возникает необходимость тщательного исследования влияний всех возможных источников ошибок выполняемых измерений, особенностей их проявления и обоснования методов их учета. В зависимости от характера воздействия отмеченных источников, возникающие при этом ошибки, подразделяются на две основные группы: систематические погрешности, которые применительно к спутниковым измерениям получили название смещений, и погрешности случайного характера, которые часто отождествляют с понятием «шум».

Для погрешностей первой группы разрабатываются специальные методы их учета. Влияние второй группы удается, в большинстве случаев, минимизировать за счет использования большого массива отдельных измерений. В настоящем разделе основное внимание уделено рассмотрению ошибок систематического характера, обуславливающих появление смещений результатов измерений. При их исследовании и создании методов ослабления их влияния широкое распространение получил метод моделирования, для разработки которого приходится тщательно изучать механизм воздействия таких источников ошибок на результаты измерений с тем, чтобы на основе такого изучения разработать эффективные методы минимизации отмеченного влияния.

Исходя из анализа измерительного процесса, характерного для системы GPS, все основные источники ошибок можно условно разбить на три основные группы:

- 1) ошибки, связанные с неточностью знания исходных данных, из которых определяющая роль принадлежит погрешностям знания эфемерид спутников, значения которых должны быть известны на момент измерений;
- 2) ошибки, обусловленные влиянием внешней среды, среди которых выделяют такие источники, как воздействие атмосферы (ионосферы и тропосферы) на результаты спутниковых измерений, а также отраженных от окружающих объектов радиосигналов (многопутность);

3) инструментальные источники ошибок, к которым, как правило, относят неточность знания положения фазового центра антенны приемника, неучтенные временные задержки при прохождении информационных сигналов через аппаратуру, а также погрешности, связанные с работой регистрирующих устройств GPS приемников.

Наряду с перечисленными выше группами ошибок приходится учитывать и отдельные факторы, обуславливающие появление ошибок, которые не характерны ни для одной из перечисленных выше групп. В частности, к таким ошибкам могут быть отнесены погрешности, возникающие вследствие неоптимального взаимного расположения наблюдаемых спутников (геометрический фактор). Кроме того, целый ряд ошибок может возникать в процессе перехода от одной координатной системы к другой (например, от собственной системе GPS глобальной координатной системы GPS-84 к местной, интересующей потребителя координатной системе). В дополнение к вышеизложенному необходимо учитывать также влияние источников ошибок, связанных с «искусственным зашумлением» излучаемых спутниками радиосигналов.

При нахождении интересующих потребителя координат точек на земной поверхности спутниковыми методами необходимо наряду с измерением расстояний до спутника знать также его эфемериды, которые определяют местоположение.

1.4 Получение альманахов и эфемерид навигационных спутников

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

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

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

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

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

Чтобы получить альманах и эфемериды, необходимо выполнить следующие действия.

Установите приемник в месте с хорошей обзорностью небосклона.

Включите приемник.

Подождите примерно 15 минут, пока приемник не завершит сбор всех данных альманаха и эфемерид со спутников. Если 15 минут прошло, но приемник не принял сигналы со спутников, очистите энергонезависимую память (nvram). См. Раздел “выберите ram файл и flash файл платы приемника.”

Обновление или получение новых альманахов требуется в следующих случаях.

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

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

После загрузки новых кодов дополнительных опций (oaf).

После загрузки нового микропрограммного обеспечения.

После очистки энергонезависимой памяти nvram.

Перед съемкой.

1.5. Планирование спутниковых измерений

Поскольку период обращения ГНСС спутников вокруг Земли составляет около 12 часов, их расположение на небесной сфере непрерывно меняется. Поэтому для проведения аккуратного планирования требуется указать точную дату и время, когда планируется проводить ГНСС измерения. Полученные при этом результаты будут актуальны в течение нескольких дней (до одной недели), а затем требуется обновить альманах и выполнить операцию планирования заново.

Планирование работ по спутниковым измерениям удобно выполнять на основании он-лайн программы Trimble, которую можно найти в интернете. В этой программе по запросу предоставляются пять основных факторов, влияющих на качество ГНСС измерений. Параметры этих факторов показаны в виде графиков на 24 часа. Необходимо ввести дату, на которую планируются спутниковые измерения и по оптимальным параметрам факторов выбрать время проведения работ. Если объем работ большой, то планирование работ выполняют на несколько дней.

Основным фактором для оценки наилучшего времени для проведения ГНСС измерений является параметр PDOP (параметр «снижения точности» - Position Dilution Of Precision). Фактор (параметр) снижения точности:

- чем ниже DOP, тем более точное решение (координаты),
- чем выше DOP, тем менее точные координаты,
- в геодезии чаще всего используют PDOP и RDOP,
- PDOP = позиционное снижение точности - показатель мгновенной геометрии НИСЗ,
- RDOP = относительное снижение точности - показатель изменения в геометрии НИСЗ за период наблюдений.

По графику DOP выбирают минимальные параметры.

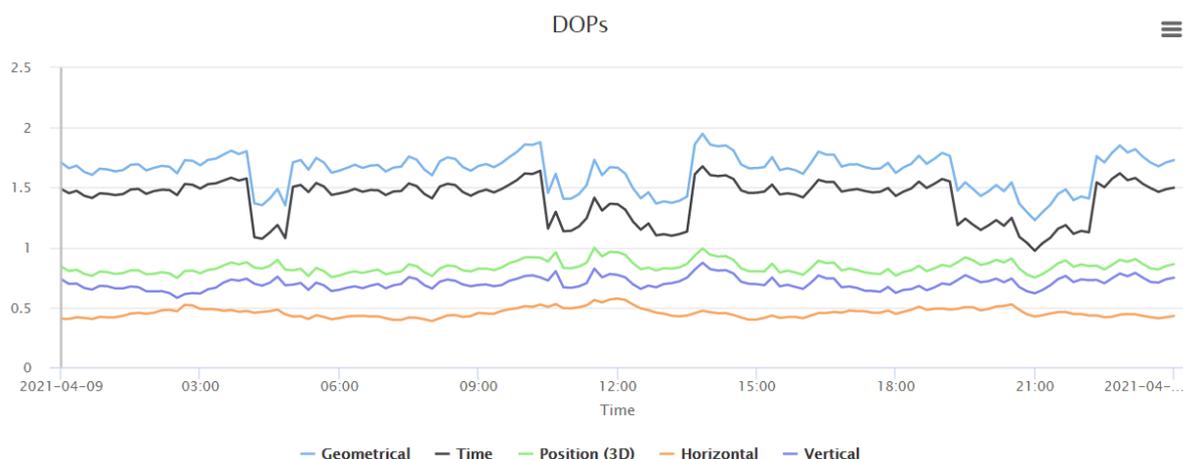


Рис. 1. График DOP на 10.05.2021 г.

Другим важным фактором, влияющим на качество ГНСС измерений, является оценка возвышения спутников. Высота спутников над горизонтом должна быть не менее 15 градусов. Эти параметры выбирают из графика возвышения спутников.

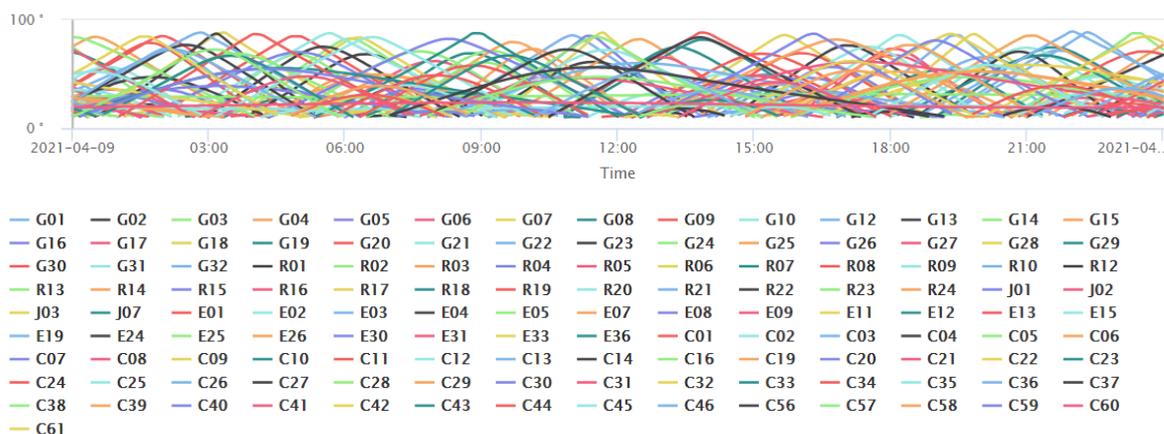


Рис. 2. График возвышения спутников на 10.05.2021 г.

Следующим важным фактором, влияющим на качество ГНСС измерений, является количество видимых спутников. Минимальное количество спутников, необходимое для точного определения координат, считается – четыре спутника. Сейчас количество спутников в любой момент времени в несколько раз превышает этот минимум, но конечно, по возможности, нужно

выбирать максимальное количество спутников. Их можно выбрать из графика количества спутников.

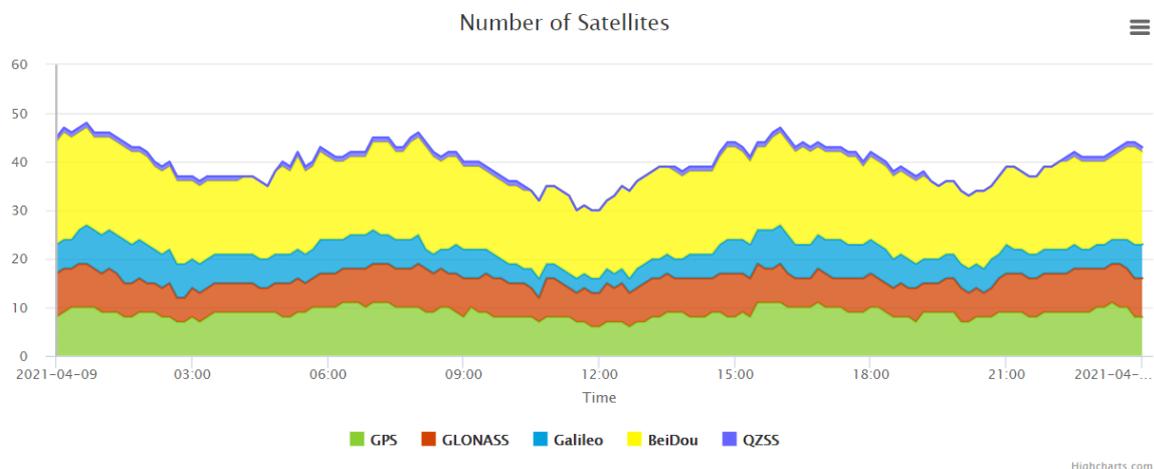


Рис. 3. График количества спутников на 10.05.2021 г.

Другим важным фактором, влияющим на качество ГНСС измерений, является качество видимости спутников, которое определяется из графика видимости спутников.

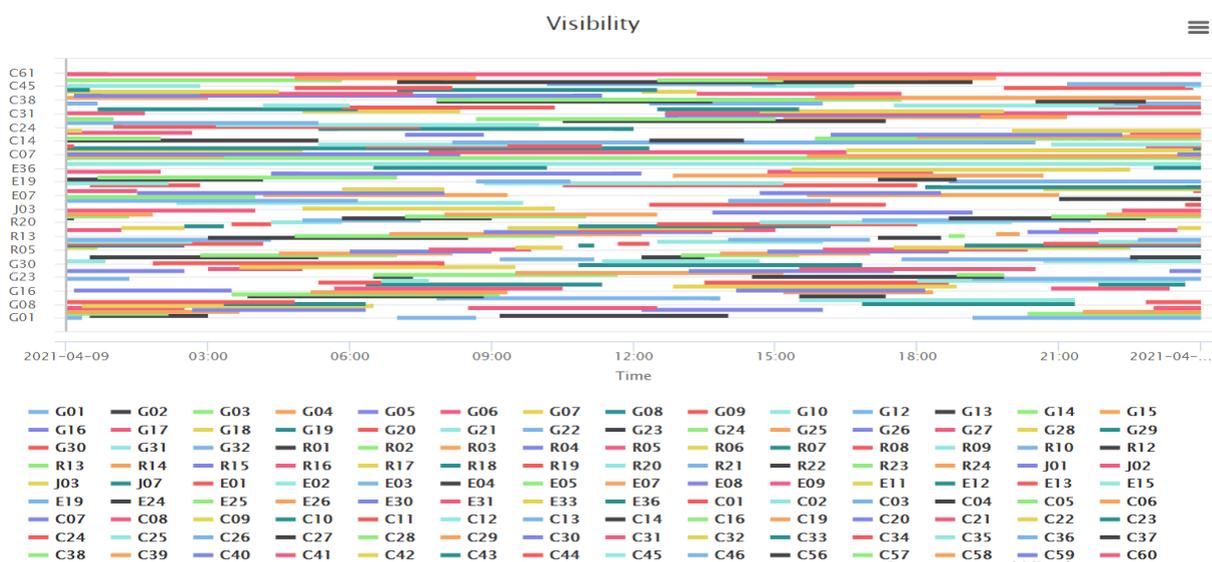


Рис. 4. График видимости спутников на 10.05.2021 г.

Еще одним важным фактором, влияющим на качество ГНСС измерений, является оценка параметров «космической погоды». Обычно качество

измерений ухудшается с увеличением в ионосфере параметра полной концентрации свободных электронов (ТЕС – Total Electron Content). Параметр ТЕС имеет ярко выраженную суточную и 11-летнюю периодичности. Если первая связана с суточным вращением Земли вокруг Солнца, то 11-летний цикл зависит от числа пятен на Солнце. Оптимальные параметры ТЕС (минимальное ионосферное влияние) можно определить из графика ионосферной активности.

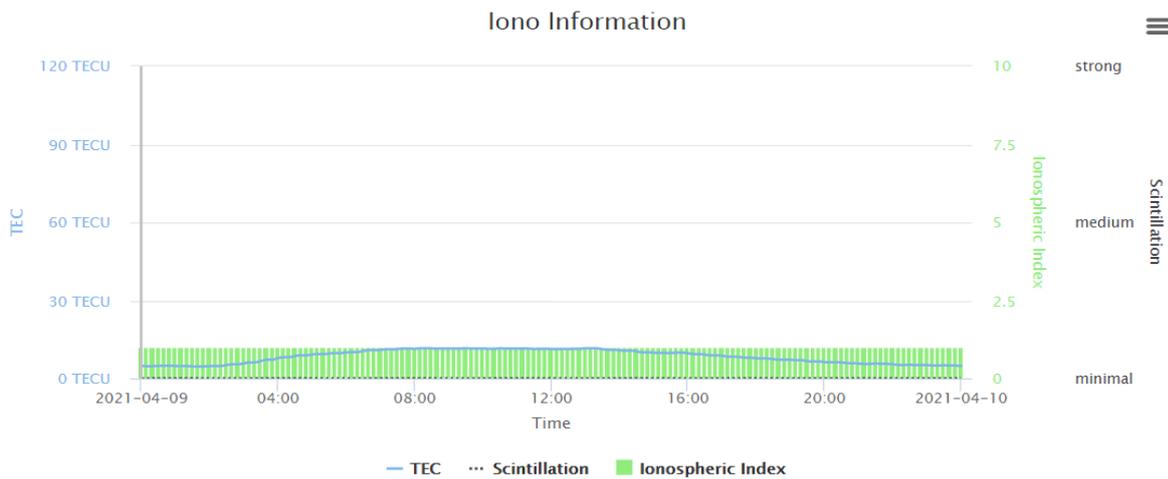


Рис. 5. График ионосферной активности на 10.05.2021 г.

По совокупности оптимальных данных всех факторов влияния на точность спутниковых измерений составляется план выполнения работ, т. е. выбирается оптимальное время проведения работ на каждый день.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бартенев В.А., Гречкосеев А.К., Козорез Д.А., Красильщиков М.Н. Современные и перспективные информационные ГНСС-технологии в задачах высокоточной навигации : монография / В.А. Бартенев, А.К. Гречкосеев, Д.А. Козорез, М.Н. Красильщиков ; под редакцией В.А.Бартенева, М.Н. Красильщикова. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2014. — 192 с. — ISBN 978-5-9221-1577-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/91173> (дата обращения: 11.09.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Карлащук В.И. Спутниковая навигация. Методы и средства [Электронный ресурс]/ Карлащук В.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009.— 284 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65412.html>.— ЭБС «IPRbooks»
3. Кашкаров, А.П. Система спутниковой навигации ГЛОНАСС / А.П. Кашкаров. — Москва : ДМК Пресс, 2018. — 96 с. — ISBN 978-5-97060-597-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/97338> (дата обращения: 11.09.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Мещеряков, А.А. Спутниковая Радионавигационная Система «Навстар» (GPS) : учебно-методическое пособие / А.А. Мещеряков. — Москва : ТУСУР, 2012. — 39 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/10857> (дата обращения: 11.09.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. ГКИНП (ОНТА) – 01-271-03. М., ЦНИИГАиК, 2003 г.
6. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т.1. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». - М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.
7. Антонович К.М. Навигационно-топографическая GPS-система RATHFINDER. Практикум для студентов геодезических специальностей. Ч.1. – Новосибирск, СГГА, 1995 г. – 44 с.
8. Конспекты лекций по курсу «GPS- технологии»
9. Буденков, Н. А. Геодезическое обеспечение строительства [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. А. Буденков, А. Я. Березин, О. Г. Щекова. — Электрон. текстовые данные. — Йошкар-Ола : Марийский государственный технический университет, Поволжский государственный технологический университет, ЭБС АСВ, 2011. — 188 с. — 978-5-8158-0841-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22570.html>

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

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

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

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Задание на курсовой проект по дисциплине «Спутниковые системы и технологии позиционирования».....	3
1. Общие теоретические сведения.....	4
1.1. Спутниковые системы, используемые в ГНСС измерениях.....	4
1.2. Методы и режимы измерений спутниковой аппаратуры.....	6
1.3. Учет ошибок измерений и методы ослабления их влияния.....	9
1.4. Получение альманахов и эфемерид навигационных спутников.....	10
1.5. Планирование спутниковых измерений.....	11
Библиографический список	15

**СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОЛОГИИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

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

Составитель
Шумейко Вячеслав Владиславович

Издается в авторской редакции

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

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