

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

Е. Г. Гиенко

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ КООРДИНАТНОЙ ОСНОВЫ

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

Новосибирск
СГУГиТ
2025

УДК 528.33
Г465

Рецензент: кандидат технических наук, доцент, СГУГиТ *А. В. Мареев*
заместитель директора по производству – руководитель проектного офиса ООО «ГЕОКАД плюс» *Д. А. Кауфман*

Гиенко, Е. Г.

Г465 Современные геодезические методы создания государственной координатной основы : практикум / Е. Г. Гиенко. – Новосибирск : СГУГиТ, 2025. – 93 с. – Текст : непосредственный
ISBN 978-5-907998-26-1

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

Практикум составлен в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Современные геодезические методы создания государственной координатной основы» и предназначен для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование (уровень бакалавриата). Содержит описание лабораторных работ, рекомендации по их выполнению, основы теории, контрольные вопросы для проверки знаний по дисциплине, необходимую справочную информацию, а также контрольную работу для обучающихся по заочной форме.

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

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 528.33

ISBN 978-5-907998-26-1

© СГУГиТ, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Лабораторная работа № 1. Поиск сведений о пунктах государственной геодезической сети, государственной нивелирной сети на федеральном портале пространственных данных	9
2. Лабораторная работа № 2. Определение координат начального пункта спутниковой геодезической сети.....	13
3. Лабораторная работа № 3. Уравнивание локальных спутниковых геодезических сетей, построенных относительно геометрическим методом	28
4. Лабораторная работа № 4. Привязка локальной спутниковой геодезической сети к государственной плановой и высотной основам.....	39
5. Лабораторная работа № 5. Исследование точностных характеристик современных глобальных моделей гравитационного поля Земли	47
6. Лабораторная работа № 6. Определение параметров модели локального квазигеоида по спутниковым, нивелирным, астрономическим и гравиметрическим данным	57
7. Контрольная работа для обучающихся на заочном отделении.....	62
Библиографический список.....	75
Приложение 1. Порядок получения информации о пунктах ФАГС.....	77
Приложение 2. Порядок получения информации о пунктах ДГС	81
Приложение 3. Конвертирование файлов ГНСС-измерений из RINEX3 в RINEX2	83

Приложение 4. Основные настройки проекта в ПО Trimble Business Center	85
Приложение 5. Порядок работы с утилитой Coordinate System Manager в ПО Trimble Business Center.....	86
Приложение 6. Исходные данные для выполнения лабораторных работ № 5 и 6	87
Приложение 7. Астрономические и геодезические координаты пунктов спутниковой геодезической сети.....	92

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее издание предназначено для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Современные геодезические методы создания государственной координатной основы», для обучающихся по направлению подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование (уровень бакалавриата, профиль «Геодезия»). Практикум соответствует рабочей программе дисциплины и направлен на закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях, а также на формирование соответствующих профессиональных компетенций в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование, профиль «Геодезия».

Дисциплина читается на 4-м курсе в 7-м семестре. Ее можно назвать обобщающим курсом по геодезии, так как для ее освоения необходимы знания, умения и навыки, приобретенные при изучении дисциплин геодезического профиля и после прохождения учебных и производственной практик. В результате изучения теоретических вопросов и выполнения лабораторных работ у обучающихся должно сформироваться общее представление о современных методах создания и развития трех- и четырехмерной координатной основы на физической поверхности Земли для решения научных и практических задач геодезии.

Настоящий практикум подготовлен на основе сборника описаний практических работ, изданного в 2014 г. [3]. С того времени произошли изменения в законодательных актах, регулирующих создание государственной координатной основы, в организации производственных процессов, в технологиях измерений и обработки, а также в доступе к геопространственной информации. Изменения вошли и в практикум: появилась новая лабораторная работа по поиску и анализу информации о геодезических и нивелирных сетях на Федеральном портале пространственных данных (ФППД) [21], внесены корректировки, связанные с современными ре-

алиями создания государственных геодезических сетей. Появилась контрольная работа для обучающихся на заочном отделении, для решения задач лабораторного практикума без использования лицензионного коммерческого программного обеспечения. Основные теоретические вопросы, необходимые для понимания задач лабораторных работ и успешного их выполнения, изложены в учебно-методическом пособии Е. Г. Гиенко «Современные геодезические методы создания государственной координатной основы», изданном в 2024 г. [4].

Государственную координатную основу определяет множество геодезических пунктов с известными точными координатами в единой государственной системе координат. Система геодезического обеспечения Российской Федерации есть генеральная совокупность фундаментальных параметров фигуры Земли и ее внешнего гравитационного поля, реализуемых на территории Российской Федерации через государственную координатную основу и структуру государственных сетей.

Федеральный закон «О геодезии, картографии и пространственных данных» [12] декларирует современную структуру государственной геодезической сети (ГГС): фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС), высокоточная геодезическая сеть (ВГС), спутниковая геодезическая сеть 1-го класса СГС-1. Указанные сети заменяют существующую геодезическую сеть 1–4-го классов, созданную наземными геодезическими методами. Долговременно закрепленные пункты ГГС, государственной нивелирной сети (ГНС), государственной гравиметрической сети (ГГрС) остаются в составе государственной координатной основы, сведения о перечисленных государственных сетях содержатся на ФППД. В лабораторной работе № 1 поставлены задачи для работы с информацией, предоставляемой ФППД.

В настоящее время для решения многих прикладных задач, связанных с высокоточным координатным обеспечением с применением глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), создаются и используются дифференциальные геодезические станции (ДГС) [14, 15]. В России создана Федеральная сеть геодезических станций (ФСГС) [17, 19, 20] – совокупность функционально объединенных дифференциальных геодезических станций с пунктами ФАГС, на которых выполняется прием сигналов

со спутниковых навигационных систем и осуществляется передача измерительной информации в аппаратно-программный комплекс ФСГС, обеспечивающий ежедневное определение координат ДГС. Определение координат пунктов ФАГС, уравнивание сети ДГС – задачи лабораторных работ № 2 и № 3.

Множество геодезических работ выполняется в местных системах координат, и актуальной задачей геодезиста является грамотное использование алгоритмов и параметров перехода от одной системы координат к другой. В лабораторной работе № 4 предусмотрено получение координат пунктов спутниковых геодезических сетей в местных системах.

В настоящее время происходит модернизация государственной высотной основы [12, 22], где одним из направлений является развитие спутникового нивелирования (II–IV классов) с использованием гравиметрических данных (моделей гравитационного поля Земли) и ГНСС-измерений. Практические вопросы, связанные со спутниковым нивелированием, решаются в лабораторных работах № 5 и № 6.

Все лабораторные работы предполагают анализ результатов, выводы и рекомендации; в итоге обучающиеся приобретают навыки как решения производственных задач, так и исследовательской работы: постановки экспериментов, корректной интерпретации получаемых результатов, выбора оптимального решения.

Следует отметить, что представленные ссылки, а также порядок действий при выполнении работ могут претерпеть изменения вследствие обновлений в онлайн-сервисах, интерфейсах программ и сайтов. Но это не должно останавливать обучающихся в выполнении работы, поскольку теоретические основы и общая логика выполнения работ сохраняются.

Все задания являются индивидуальными и выполняются по соответствующему варианту. По каждому заданию обучающийся представляет оформленный отчет, который должен содержать:

- титульный лист с указанием названия учебного заведения и кафедры, года выполнения задания, номера и названия практической работы, номера варианта, группы и фамилии обучающегося, а также ведущего практику преподавателя;

- исходные данные к работе в соответствии с номером варианта;

- описание разделов работы, полученные результаты, заполненные таблицы, пояснения к ним;
- выводы и рекомендации по работе или заключение.

Работы оформляются в текстовом редакторе Word, сдаются на проверку преподавателю. После исправления замечаний происходит защита работ в виде ответов на вопросы (примерные списки вопросов приведены в конце описания каждой лабораторной работы).

Автор желает обучающимся успехов в изучении дисциплины.

1. Лабораторная работа № 1

ПОИСК СВЕДЕНИЙ О ПУНКТАХ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ, ГОСУДАРСТВЕННОЙ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ НА ФЕДЕРАЛЬНОМ ПОРТАЛЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Время выполнения: 8 часов аудиторных занятий и 6 часов самостоятельной работы.

Цель и задачи работы: закрепление теоретических знаний о видах и состоянии государственных геодезических и нивелирных сетей, получение сведений о пунктах ГГС и ГНС на ФППД, приобретение навыков поиска и использования пространственных геодезических данных.

Исходные данные:

- район работ и пункт спутниковой геодезической сети (выдаются преподавателем по варианту);
- Федеральный портал пространственных данных ППК Роскадастр.

Для выполнения работы, составления отчета и ответов на контрольные вопросы рекомендуется ознакомиться с соответствующими разделами издания [4], нормативными документами [11–13, 21], памяткой [16].

Краткие теоретические сведения

В федеральном законе (ФЗ) о геодезии, картографии и инфраструктуре пространственных данных [12] приводятся определения и назначение различных государственных геодезических сетей, реализующих государственную координатную основу. К ним относятся государственная геодезическая сеть, государственная нивелирная сеть и государственная гравиметрическая сеть. Основными характеристиками ГГС, ГНС, ГГрС, являются назначение, требуемая точность и плотность (расстояния между пунктами).

Сведения о геодезических сетях содержатся на сайте ФППД ППК Роскадастр [21], скриншот меню ФППД приведен в прил. 1 учебно-методического пособия [4].

Порядок выполнения работы

1. Подготовка исходных данных. Выписать географические координаты заданного по варианту пункта СГС. Определить и записать территориально-административную принадлежность этого пункта (область, район, город), географические координаты. Заполнить табл. 1.1.

Таблица 1.1

Сведения о расположении исходного пункта

Название пункта	
Принадлежность к СГС	
Область (край)	
Район	
Город	
Географические координаты: – широта; – долгота	

2. Зайти на сайт Федерального портала пространственных данных (ФППД) ППК Роскадастр. На главной странице открыть вкладку «Сведения о пунктах государственных геодезической, нивелирной, гравиметрической сетей, геодезических сетей специального назначения». Необходимая информация о пунктах ГГС и ГНС открывается в соответствующих папках на странице.

3. Настройки поиска. В фильтре поиска отметить основные настройки: местонахождение территории, административно-территориальное деление (район или городской округ), систему высот (Балтийская 1977 г.).

4. Поиск сведений о пунктах нивелирной сети. В дополнительном фильтре выбрать класс пункта, где отметить I и II классы геометрического нивелирования. На карте отобразится местоположение этих пунктов, а в таблице – сведения о них. В отчете привести скриншот карты общего расположения пунктов ГНС, где отметить положение заданного по вари-

анту пункта СГС. Найти 5 действующих пунктов ГНС, ближайших к заданному по варианту пункту СГС. Составить таблицу со всеми приведенными на сайте сведениями о выбранных пунктах. Привести увеличенные фрагменты топографической карты, где отмечены выбранные пункты.

5. Поиск сведений о пунктах геодезической сети. В дополнительном фильтре выбрать класс пункта, где отметить астрономо-геодезическую сеть 1-го и 2-го классов или другую геодезическую сеть, заданную преподавателем. Это может быть сеть городской полигонометрии, опорная межевая сеть или что-то другое (посмотреть варианты на сайте в дополнительном фильтре при выборе класса пункта). На карте отобразится местоположение пунктов ГГС, а в таблице – сведения о них. В отчете привести скриншот карты общего расположения пунктов ГГС, где отметить положение заданного по варианту пункта СГС. Найти 5 действующих пунктов ГГС, ближайших к заданному по варианту пункту СГС. Составить таблицу со всеми приведенными на сайте сведениями о выбранных пунктах. Привести увеличенные фрагменты карты, где отмечены выбранные пункты.

6. Поиск пунктов ГГС и ГНС в городе Новосибирске (в том числе поиск на местности). В фильтре поиска отметить местонахождение территории – Новосибирская область, городской округ Новосибирск. При поиске сведений о ГГС в дополнительном фильтре отметить все имеющиеся геодезические сети. При поиске сведений о ГНС в дополнительном фильтре выбрать только I и II классы геометрического нивелирования. В районе города, заданном преподавателем по варианту, найти действующие пункты ГГС и ГНС в списке. Выехать на местность, найти пункт, сфотографировать его. Если есть несоответствия в предоставленной в ФППД информации, написать в отчете. В помощь поиску пунктов – Памятка [16].

7. Составление отчета. Отчет должен содержать табл. 1.1, карты расположения всех выбранных пунктов (в том числе исходного) для ГНС и ГГС, таблицы со сведениями о выбранных пунктах, фрагменты топографических карт, где отчетливо видно расположение этих пунктов. В заключении отчета сделать выводы о достаточном или недостаточном количестве выбранных пунктов в районе работ. Результаты полевого обследования пунктов ГГС и ГНС в г. Новосибирске представить в виде фотографий пунктов и уточнения (при необходимости) информации ФППД.

Контрольные вопросы

1. Виды геодезических сетей, реализующих государственную координатную основу.
2. Какие геодезические сети реализуют государственную высотную основу?
3. Какие геодезические сети создавались наземными методами?
4. Какие геодезические сети создаются спутниковыми методами?
5. Какие сведения можно найти на ФППД?
6. Для решения каких задач можно использовать сведения из ФППД?
7. Как определяется точность цифровой карты?
8. Какие знания, навыки были приобретены после выполнения работы?

2. Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ НАЧАЛЬНОГО ПУНКТА СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ

Время выполнения: 12 часов аудиторных занятий и 4 часа самостоятельной работы.

Цель и задачи работы: получение координат начального пункта спутниковой геодезической сети, знакомство с деятельностью IGS, ФАГС, ДГС, обучение самостоятельному использованию интернет-ресурсов, онлайн-сервисов и программного обеспечения для получения координат начального пункта СГС, освоение методики обработки ГНСС-измерений, приобретение навыков контроля получаемых результатов.

Исходные данные:

- файлы ГНСС-измерений на пунктах СГС;
- координаты пунктов СГС в общеземной системе с сайта владельца СГС.

Дата наблюдения и определяемый пункт выдаются преподавателем по варианту.

Для выполнения работы, составления отчета и ответов на контрольные вопросы рекомендуется ознакомиться с соответствующими разделами изданий [1, 2, 4].

Краткие теоретические сведения

В настоящее время существуют и активно развиваются спутниковые геодезические сети, задающие координатную основу для решения многих прикладных и научных задач. Например, глобальная сеть пунктов международной ГНСС-службы IGS (International GNSS Service) [26], Российская Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС) [7], региональные сети дифференциальных геодезических станций (ДГС) [14]. Назначение этих сетей приводится в соответствующих законодательных и нормативных документах. Следует отметить, что положения пунктов IGS,

ФАГС и других СГС задаются в разных системах отсчета и на разную эпоху (из-за глобального движения литосферных плит), и важной задачей является приведение результатов обработки и уравнивания ГНСС-измерений к заданной системе координат и эпохе.

Особенностью высокоточных определений координат пунктов геодезических сетей с использованием ГНСС-технологий является применение относительного метода. В результате обработки относительным методом результатов одновременных ГНСС-измерений на нескольких пунктах получаются векторы базовых линий (БЛ). Базовая линия есть основной элемент для построения геодезических сетей по ГНСС-измерениям.

Компоненты векторов базовых линий – разности координат пунктов спутниковой геодезической сети (СГС), поэтому, чтобы получить непосредственно положения определяемых пунктов, необходимо знать координаты как минимум одного, начального, пункта. В этом случае при фиксировании координат этой станции и выполнении минимально ограниченного уравнивания СГС в ПО обработки ГНСС-измерений вычисляются координаты остальных пунктов относительно начального. Погрешности координат начального пункта напрямую скажутся на точности положений остальных пунктов спутниковой геодезической сети. Кроме того, погрешности в координатах начала базовой линии влияют на ее решение в целом (ошибки вносятся в матрицу коэффициентов и свободные члены уравнений поправок).

В настоящее время определение координат начального пункта СГС выполняется относительным методом ГНСС от пунктов с точными известными положениями в общеземной системе (сантиметровая точность). Координаты определяемого пункта будут в той же системе и на ту же эпоху, в которых заданы координаты опорных пунктов.

Если опорными пунктами являются пункты ФАГС, то координаты определяемых пунктов будут в государственной системе ГСК-2011. Оценка координат относительно пунктов сети Международной ГНСС-службы IGS будет в Международной координатной основе ITRF** [27].

Обработка ГНСС-измерений и оценка координат может выполняться в разном специализированном ПО – свободном, коммерческом, а также с использованием онлайн-сервисов.

При использовании онлайн-сервисов следует грамотно интерпретировать результаты обработки, поскольку, как правило, большинство онлайн-сервисов предоставляет результаты на средний момент наблюдений спутников и в той же системе, в которой заданы положения спутников. Для приведения к требуемой эпохе необходимо учитывать скорости движений пунктов, вызванных глобальным движением литосферных плит, а для приведения к требуемой системе – выполнять преобразование координат с необходимыми параметрами.

В лабораторной работе предусмотрено получение координат начального пункта СГС относительным методом с использованием коммерческого ПО Trimble Business Center (TBC), а также онлайн-сервиса AUSPOS [24] (для самостоятельной работы и заочного обучения). Подразумевается, что с основными процедурами обработки ГНСС-измерений обучающиеся ознакомлены после изучения дисциплины «Спутниковые системы и технологии позиционирования», а также прохождения комплексной учебной практики.

Получение координат начального пункта СГС – важная задача, от правильного выполнения которой зависит точность положений пунктов всей СГС. Поэтому важны контроли решения, внутренние и внешние, а также проверка адекватности оценки точности, так как решение может быть хорошим по внутренней сходимости, но иметь систематическое смещение. В лабораторной работе предусмотрены несколько этапов контроля при получении координат начального пункта СГС.

Порядок выполнения работы

1. Подготовка исходных данных.

1.1. Сбор сведений об определяемом и исходных геодезических пунктах.

Геодезический пункт, координаты которого следует определить, а также дата ГНСС-измерений, целевые система координат и эпоха выдаются преподавателем по варианту задания. Опорные пункты, относительно которых определяются координаты, по иерархии должны быть выше определяемого (по принципу от общего к частному, например, IGS – ФАГС – ДГС или IGS – ДГС).

Определяемым геодезическим пунктом может быть:

- пункт ФАГС (относительно пунктов IGS);
- пункт ДГС (относительно пунктов ФАГС или IGS).

Сведения о станциях, файлы «сырых» ГНСС-измерений в RINEX-формате на пунктах IGS, ФАГС, ДГС доступны по ссылкам, приведенным в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Ссылки на сайты спутниковых геодезических сетей

Сеть ГНСС-станций	Ссылка на сайт	Область охвата	Примечания
IGS	https://igs.org/	Глобальная	Требуется регистрация
ФАГС	https://rgs.cgkipd.ru/	Российская	Требуется регистрация
ДГС	https://fsgs.cgkipd.ru/	Региональная. На сайте ФСГС приведены ссылки на сайты операторов ДГС	Требуется регистрация для получения Rinx-файлов. Ограничен интервал хранения файлов в свободном доступе

Кроме того, для обработки ГНСС-измерений необходимы точные эфемериды спутников, для приведения результатов к требуемой эпохе – скорости движения пунктов, для перевычисления в требуемую систему координат – параметры трансформирования. Ссылки, по которым можно получить перечисленную информацию, приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Источники необходимой информации для выполнения работы

Информация	Ссылка	Примечания
Точные эфемериды спутников	https://igs.org/products-access/#gps-orbits-clocks	Продукт IGS
Скорости движения пунктов	https://www.unavco.org/software/geodetic-utilities/plate-motion-calculator/plate-motion-calculator.html	Онлайн-калькулятор учета движения литосферных плит
Параметры трансформирования	https://racurs.ru/downloads/documentation/gost_r_32453-2017.pdf	ГОСТ Системы координат, 2017 [8]

Для выполнения лабораторной работы надо найти расположение определяемого пункта и выбрать 3–5 ближайших исходных пунктов, пользуясь онлайн-картами СГС. При обработке ГНСС-измерений на станции следует указать тип спутниковой аппаратуры (антенны и приемника), высоту антенны и метод ее измерения. Координаты, сведения о ГНСС-измерениях на определяемом и исходных пунктах берутся из карточек станций на соответствующих сайтах (прил. 1 и 2). Информацию о выполнении ГНСС-измерений занести в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Сведения о выполнении ГНСС-измерений

Название пункта	Оператор сети	Статус (исходный или определяемый)	Тип приемника	Тип антенны	Высота антенны
...					
<i>Продолжить таблицу для всех пунктов</i>					

Для получения координат определяемого пункта относительным методом нужны точные координаты исходных пунктов с указанием системы координат и эпохи, к которой они относятся. Для сети IGS и для большинства пунктов ФАГС на соответствующих сервисах публикуются скорости пунктов, вызванные движением литосферных плит.

В табл. 2.4. занести пространственные координаты X , Y , Z , их скорости V_X , V_Y , V_Z , средние квадратические погрешности координат и скоростей исходных пунктов. Отметить систему координат и эпоху.

Таблица 2.4

Координаты и скорости исходных пунктов

Спутниковая геодезическая сеть:...							
Система координат:... Эпоха: ...							
Исходный пункт	Значения	X V_X	m_X m_{VX}	Y V_Y	m_Y m_{VY}	Z V_Z	m_Z m_{VZ}
...	Координаты, м						
	Скорости м/год						
<i>Продолжить таблицу для всех исходных пунктов</i>							

Для обработки ГНСС-измерений нужны геодезические широта, долгота и высота. Точность представления широты и долготы в градусной мере должна соответствовать миллиметровой точности в линейном выражении, т. е. широту и долготу B, L надо задавать до $0,00001''$. Следует отметить, что в карточках ФАГС B, L приведены до $0,001''$, поэтому их нельзя брать для высокоточной обработки.

Пользуясь известными формулами [5] или подходящим онлайн-калькулятором, надо вычислить геодезические координаты (B, L, H) пунктов ФАГС с требуемой точностью. Примечание: при использовании онлайн-калькуляторов следует внимательно выбирать настройки систем координат.

Результаты вычислений оформить в виде табл. 2.5.

Таблица 2.5

Эллипсоидальные координаты исходных пунктов

Спутниковая геодезическая сеть:...			
Система координат:... Эпоха: ...			
Пункт	$B, ^\circ ' ''$	$L, ^\circ ' ''$	$H, \text{ м}$
...			
Продолжить таблицу для всех исходных пунктов			

Для контроля вычисления координат определяемого пункта и анализа результатов лабораторной работы предусмотрены контрольные (известные) значения данного геодезического пункта. Поскольку контрольные значения координат часто относятся к другой системе координат и другой эпохе, то для пересчета необходимо знать скорости движения пункта. Если на сайте эти данные не приведены, то их можно рассчитать с помощью онлайн-калькулятора, ссылка на него приведена в табл. 2.2. Контрольные значения координат определяемого пункта и его скорости занести в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Контрольные значения координат и скорости определяемого пункта

Спутниковая геодезическая сеть:...				
Система координат:... Эпоха: ...				
Определяемый пункт	Значения	X V_X	Y V_Y	Z V_Z
...	Координаты, м			
	Скорости, м/год			
	Геодезические	$B, ^\circ ' ''$	$L, ^\circ ' ''$	$H, \text{ м}$

1.2. Файлы для обработки ГНСС-измерений

Для выполнения обработки ГНСС-измерений и определения координат относительным методом необходимы:

- Rinex-файлы результатов ГНСС-измерений;
- Rinex-файлы навигационных сообщений;
- точные (финальные) эфемериды спутников.

Файлы ГНСС-измерений и навигационных сообщений хранятся в архивах операторов спутниковых сетей (см. табл. 1.1). В большинстве случаев название файла ГНСС-измерений включает имя пункта и день от начала года (DOY). Файлы предоставляются в версиях Rinex 2 и Rinex 3 (уже вышла версия Rinex 4). Не каждое ПО обработки ГНСС-измерений «понимает» Rinex-формат последних версий, поэтому при скачивании файла рекомендуется по возможности указывать вторую версию или выполнить конвертацию файла в Rinex 2 с помощью утилиты RTKConv программного обеспечения RTKLib (прил. 3).

При скачивании файлов следует задать частоту записи 30 с, время начала – 1 ч по Всемирному координированному времени UTC, время окончания – 23 ч.

Навыки скачивания Rinex-файлов должны быть сформированы при изучении дисциплины «Спутниковые системы и технологии позиционирования».

При установке новых дифференциальных геодезических станций или пунктов ФАГС координаты определяются по результатам нескольких суток ГНСС-измерений. В данной работе предусмотрена обработка трех суток файлов ГНСС-измерений, на дату варианта и две соседние с ней даты.

Точные эфемериды спутников – один из продуктов деятельности международной службы IGS. Точные эфемериды определяются также и в других научных центрах; например, в России функционирует Глобальная система высокоточного определения навигационной и эфемеридно-временной информации (СВО ЭВИ) [6]. Точные эфемериды находятся в открытом доступе; в большинстве современных лицензионных ПО обработки ГНСС-измерений есть встроенная процедура для загрузки точных эфемерид в проект.

Точные эфемериды имеют расширение файлов *.sp3, найти нужный файл в архиве можно, как правило, по номеру GPS-недели и дню недели, которые можно определить с помощью любого ГНСС-календаря (онлайн).

Сведения о скачанных файлах для обработки ГНСС-измерений привести в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Типы и имена файлов для обработки ГНСС-измерений, на три даты

Дата: День от начала года DOY: GPS-неделя и номер дня в неделе GPSWeek Number:		
Тип файла	Имя файла	Размер файла
Точные эфемериды		
Навигационное сообщение GPS		
Навигационное сообщение ГЛОНАСС		
Файл ГНСС-измерений		
<i>Продолжить строки «Файл ГНСС-измерений» для всех пунктов СГС</i>		
Дата: День от начала года DOY: GPS-неделя и номер дня в неделе GPSWeek Number:		
Тип файла	Имя файла	Размер файла
<i>Продолжить таблицу для всех суток</i>		

2. Обработка ГНСС-измерений.

2.1. Создание и настройки проекта.

Перед выполнением работы необходимо разархивировать файлы ГНСС-измерений и точных эфемерид и поместить их в отдельную папку на компьютере.

Обработка спутниковых измерений может выполняться в любом предназначенном для этого программном обеспечении, например, в ПО Trimble Business Center. Обработка начинается с создания и настройки проекта, импорта файлов измерений, навигационных сообщений и точных эфемерид в проект. В ПО ТВС есть справочная система, где в том числе

можно ознакомиться с настройками по умолчанию и основным порядком действий при обработке ГНСС-измерений.

Основные настройки проекта в ПО ТВС перечислены в прил. 4.

Импорт файлов в проект выполняется стандартными процедурами; при этом необходимо проверить соответствие типов приемников и антенн, высот антенн и методов их измерений, указанных в табл. 2.3, и информации, отображаемой в окне процедуры импорта. При необходимости следует откорректировать информацию вручную.

Результаты выполнения п. 2.1 отобразить в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Файлы измерений спутниковой геодезической сети

Идентификатор пункта	Имя файла	Дата измерений	Сеанс измерений		Внесенные изменения при импортировании файла
			начало	конец	
<i>Продолжить для всех пунктов сети</i>					

После импорта файлов измерений в окне программы отобразится спутниковая геодезическая сеть. Если загружены синхронные измерения, то пункты будут соединены векторами – базовыми линиями.

2.2. Обработка базовых линий.

Перед началом обработки базовых линий следует настроить раздел проекта *Обработка базовых линий* (см. прил. 4). Запуск обработки в ПО ТВС выполняется через основное меню – *Съемка – Обработка базовых линий*. Начальные положения векторов базовых линий оставить из навигационного решения. Выполнить несколько вариантов обработки, изменяя настройки (например, маску по высоте). Выбрать наилучший вариант решения (фиксированный тип решения с минимальными погрешностями). Результаты наилучшего решения занести в табл. 2.9. Просмотреть отчет по обработке базовых линий (из меню «Отчеты»). Сохранить отчет по обработке базовых линий в папку на компьютере.

Внимание: в отчете по обработке базовой линии приводится длина линий на эллипсоиде. Для дальнейшего контроля понадобятся геометрическая длина линии в пространстве, которая приводится в среде ТВС на

экране сразу после обработки базовой линии. Поэтому данные для заполнения табл. 2.9 надо взять из скриншота экрана после обработки БЛ.

Таблица 2.9

Характеристики базовых линий

Начало и конец вектора базовой линии	Длина базовой линии, м	Тип решения	Точность в плане, м	Точность по высоте, м	СКП единичного измерения, м
<i>Продолжить для всех базовых линий</i>					

2.3. Внешний контроль решения базовых линий.

В работе необходимо выполнить независимый внешний контроль результатов решения базовых линий, а именно:

- контроль длин одних и тех же линий, измеренных в разных сеансах (в разные даты);
- вычисление невязок в полигоне;
- контроль длин линий между исходными пунктами с известными координатами.

Контроль длин базовых линий из разных сеансов. По данным табл. 2.9 заполнить табл. 2.10.

Таблица 2.10

Длины базовых линий из разных сеансов

Базовая линия	От.. до...	От.. до...	От.. до...	<i>И далее для всех линий в сети</i>
Дата (сеанс) 1				
Дата (сеанс) 2				
Дата (сеанс) 3				
Разность $D_{max} - D_{min}$				

Сделать выводы о соответствии разностей длин линий оценке точности, разности не должны превышать удвоенную среднюю квадратическую погрешность (СКП) базовой линии. В противном случае следует найти

возможные причины расхождения длин, определить линию, в которой есть грубая ошибка, и исключить из дальнейшей обработки.

Вычисление невязок в полигоне. Выбрать в меню *Съемка* опцию *Закрывание контура GNSS*. Из отчета записать сведения:

- длина полигона;
- невязка в плане;
- невязка по высоте;
- относительная погрешность (ppm).

Сделать выводы о наличии/отсутствии в сети ошибок центрирования и измерения высоты антенны, а также о соответствии невязок паспортной точности приемника. Паспортная точность берется из технических характеристик аппаратуры, приведенных на сайтах производителей или дистрибьюторов.

Сравнение измеренных и вычисленных длин линий между исходными пунктами. Вычислить по данным табл. 2.4 (координатам X , Y , Z) расстояния между исходными пунктами по известным формулам. Сравнить с длиной базовой линии, полученной из обработки измерений (если не было грубых ошибок, взять среднее значение из трех сеансов). Из отчета по обработке базовых линий выписать СКП. Заполнить табл. 2.11.

Таблица 2.11

Контроль длины базовой линии между исходными пунктами

Начало и конец вектора базовой линии	Длина базовой линии между исходными пунктами, м		Разность выч. – изм., м	СКП единичного измерения, м
	вычисл.	измер.		
<i>Далее для всех линий между исходными пунктами</i>				

Сделать заключение об адекватности оценки точности при обработке базовой линии. Оценка точности адекватна, если разность между вычисленной и измеренной длиной линии попадает в доверительный интервал, задаваемый СКП единичного измерения, приблизительно равный 2СКП .

Если оценка точности не адекватна, предположить причины большого расхождения вычисленных и измеренных длин базовых линий.

2.4. Уравнивание спутниковой геодезической сети для получения положения пункта в системе координат исходных пунктов.

Задание точных координат исходных пунктов

В ПО ТВС на схеме сети выбрать исходные пункты, вызвать правой кнопкой мыши контекстное меню «Свойства». В окне «Свойства» выбрать опцию «добавить координату», ввести точные координаты из табл. 2.4, 2.5, назначить им статус «опорные».

Исключить из обработки линии между исходными пунктами (указатель мыши навести на линию, нажать на правую кнопку, в контекстном меню выбрать опцию «Исключить»). В результате схема сети должна представлять собой радиальное построение, где базовые линии от исходных пунктов направлены к определяемому пункту.

Уравнивание спутниковой сети

Выбрать в главном меню опции *Съемка – уравнивание*. Зафиксировать положение исходных пунктов в плане и по высоте ($2D$ и v). Подтвердить команду Уравнять. В результате уравнивания должны быть успешно пройдены статистические тесты (хи-квадрат и тау-тест), а на схеме сети отобразится эллипс ошибок для определяемого пункта. Схему уравненной сети с указанием масштаба привести в отчете по работе.

Из отчета по уравниванию (Меню – Отчеты) выписать значения уравненных координат и их СКП в табл. 2.12. В заголовке таблицы отметить, в какой системе координат и для какой эпохи получены значения (X , Y , Z) и (B , L , H). Поскольку положение определяемого пункта вычислялось относительным методом ГНСС, то система координат и эпоха будут те же самые, что и для исходных пунктов.

Таблица 2.12

Уравненные координаты определяемого пункта в СК ...,
отнесенные к эпохе..., м

X	m_X	Y	m_Y	Z	m_Z
$B, ^\circ ' ''$	m_B	$L, ^\circ ' ''$	m_L	H	m_H

Разности с контрольными значениями координат определяемого пункта

В табл. 2.6 приведены взятые с соответствующих сайтов контрольные значения координат определяемого пункта с указанием системы координат и эпохи. Эти контрольные значения координат надо привести к эпохе, в которой выполнено уравнивание, по формулам

$$\begin{aligned}
 X_t &= X_0 + V_X \cdot (t - t_0), \\
 Y_t &= Y_0 + V_Y \cdot (t - t_0), \\
 Z_t &= Z_0 + V_Z \cdot (t - t_0), \\
 t &= \text{год} + N / 365,
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

где t – эпоха, в которой выполнено определение координат относительно исходных пунктов, выраженная в годах и долях года;

N – день от начала года;

t_0 – эпоха, к которой относятся контрольные значения координат (данные на сайте оператора сети).

Результаты контроля координат пункта привести в табл. 2.13.

Таблица 2.13

Разности уравненных координат определяемого пункта
с контрольными значениями, м

Система координат: ...			Эпоха:...		
$X_{\text{ур}}$		$Y_{\text{ур}}$		$Z_{\text{ур}}$	
$X_{\text{контр}}$		$Y_{\text{контр}}$		$Z_{\text{контр}}$	
ΔX		ΔY		ΔZ	

Сравнить разности координат из табл. 2.13 с СКП из уравнивания. Сделать выводы об адекватности оценки точности координат. Если оценка точности неадекватна, предположить причины возникновения больших расхождений в координатах.

Перевести разности ΔX , ΔY , ΔZ из табл. 2.13 в разности топоцентрических координат ΔE , ΔN , ΔU , а также соответствующие СКП по формулам

$$\begin{bmatrix} \Delta E \\ \Delta N \\ \Delta U \end{bmatrix} = \mathbf{R}^T \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} m_E \\ m_N \\ m_U \end{bmatrix} = \mathbf{R}^T \cdot \begin{bmatrix} m_X \\ m_Y \\ m_Z \end{bmatrix}, \quad (2.2)$$

где матрица поворота $\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -\sin L & -\sin B \cos L & \cos B \cos L \\ \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \sin L \\ 0 & \cos B & \sin B \end{bmatrix}$.

Заполнить табл. 2.14.

Таблица 2.14

Разности с контрольными значениями координат
в топоцентрической системе, м

Система координат: ...			Эпоха:...			
Название пункта	ΔE	m_E	ΔN	m_N	ΔU	m_U

Отметить, в каком направлении расхождения в топоцентрических координатах максимальные. Сделать вывод о соответствии расхождений в топоцентрических координатах оценке точности.

3. Составление пояснительной записки.

Привести следующую информацию:

- цель и задачи работы;
- описание геодезических сетей, к которым относятся определяемые пункты;

- исходные данные (пункты, наблюдения, эфемериды, даты, продолжительность сеансов и т. д.);
- решенные задачи (что было сделано);
- результаты контролей, выводы.

Отчет по лабораторной работе № 2 должен содержать: все заполненные таблицы с необходимыми промежуточными выводами, схему спутниковой геодезической сети после уравнивания с указанием масштаба, пояснительную записку. Основным выводом по работе является заключение о точности рассматриваемого метода получения координат исходного пункта спутниковой геодезической сети (внутренний и внешний контроль).

Контрольные вопросы

1. Относительный метод ГНСС. Принцип, особенности, точность метода.
2. Для чего необходимо знать координаты начального пункта спутниковой геодезической сети?
3. Международная ГНСС-служба МГС (IGS). Какие продукты IGS использовались в работе? Как их можно получить?
4. Спутниковые геодезические сети: IGS, ФАГС, ДГС. Территориальный охват, назначение.
5. В какой системе координат вычислялось положение начального пункта спутниковой геодезической сети? К какой эпохе отнесены координаты этого пункта?
6. Внешние и внутренние контроли решения задачи.
7. На что обращать внимание, если какой-либо контроль не пройден?
8. С какой точностью были получены координаты начального пункта в данном случае?

3. Лабораторная работа № 3

УРАВНИВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, ПОСТРОЕННЫХ ОТНОСИТЕЛЬНЫМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Время выполнения: 10 часов аудиторных занятий и 4 часа самостоятельной работы.

Цель и задачи работы: освоить технологию обработки спутниковых измерений, научиться выполнять минимально ограниченное уравнивание и интерпретировать его результаты.

Исходные данные:

- координаты начального пункта спутниковой геодезической сети в общеземной системе координат;
- файлы измерений на пунктах спутниковой геодезической сети;
- схема спутниковой геодезической сети;
- файлы точных эфемерид на даты наблюдений.

Для выполнения работы, составления отчета и ответов на контрольные вопросы рекомендуется ознакомиться с соответствующими разделами изданий [1–4].

Краткие теоретические сведения

Главная цель уравнивания спутниковых сетей – представление геодезических координат пунктов (их вероятнейших значений) в необходимой системе координат с оценкой точности и оптимизация ошибок измерений. Для достижения этих целей используются известные теоретические и практические методы, имеющие достоверное статистическое обоснование.

В задачи уравнивания входит:

- согласование совокупности всех измерений в сети;
- анализ ошибок ГНСС-измерений (обнаружение грубых и больших ошибок, исключение систематических ошибок, распределение случайных ошибок измерений по методу наименьших квадратов);

- получение набора уравненных координат и соответствующих им элементов базовых линий с оценкой точности в виде ковариационных матриц или погрешностей;
- трансформирование координат в требуемую систему;
- преобразование геодезических высот в нормальные.

Исходными данными для уравнивания являются векторы базовых линий и их ковариационные матрицы. В качестве дополнительных исходных данных при уравнивании спутниковой геодезической сети могут использоваться координаты опорных пунктов (одного или нескольких) в геоцентрической системе (ГСК-2011, WGS-84, ITRF, ПЗ-90), а также плановые и высотные координаты опорных пунктов в референцной системе.

Уравнивание спутниковой геодезической сети может быть свободным, минимально ограниченным и ограниченным.

Свободное уравнивание. Начальная стадия уравнивания сети, где неизвестны координаты всех пунктов. Составленная система уравнений имеет дефект ранга, равный трем.

Минимально ограниченное уравнивание. Выполняется, если заданы и зафиксированы (считаются неизменными) координаты исходного, начального пункта спутниковой геодезической сети в геоцентрической системе отсчета. Результаты свободного и минимально ограниченного уравнивания отражают внутреннюю точность сети, образованной измеренными базовыми линиями и не деформированной ошибками исходных данных (координат пунктов). Уравненные координаты пунктов получаются в системе, к которой относится исходный пункт. Поскольку координаты этого пункта в геоцентрической системе определены с некоторой ошибкой (см. лабораторную работу № 2 настоящего практикума), то и уравненные координаты определяемых пунктов будут иметь те же ошибки.

Ограниченное уравнивание. Выполняется при фиксировании более чем трех координат; тем самым накладываются дополнительные ограничения по отношению к минимально необходимым. Производится после успешного завершения минимально ограниченного уравнивания, как правило, в референцной системе координат.

В данной лабораторной работе предусмотрено минимально ограниченное уравнивание спутниковой геодезической сети.

Статистические тесты уравнивания. В ПО обработки ГНСС-измерений результаты уравнивания проходят статистические тесты для выявления и устранения возможных ошибок. Основным испытанием в коммерческих ПО, как правило, является *тест χ^2* , который проверяет соответствие априорной и апостериорной ошибок единицы веса. С помощью χ^2 -теста оценивается приемлемость всего уравнивания. Если тест для сети выполнен, это свидетельствует о нормальном распределении ошибок измерений и о том, что достигнутая точность соответствует ожидавшейся. Когда на вход программы уравнивания поступает неадекватная ковариационная матрица, получаемое решение не будет проходить тест χ^2 .

В коммерческих ПО уравнивания СГС, как правило, используются два метода корректировки ковариационных матриц:

- масштабирование ковариационных матриц;
- модификация отдельных элементов ковариационных матриц.

В первом методе применяется некоторый масштабирующий коэффициент (скаляр), на который умножаются все элементы ковариационной матрицы. В ПО ТВС значение скаляра назначается автоматически, на основании сравнения априорной и апостериорной ошибок единицы веса по сети, и такая процедура называется *взвешиванием сети*.

Второй метод основан на зависимостях ошибок планового положения m_D и высоты m_H от расстояния D между пунктами:

$$m_D = a + bD; \quad m_H = a' + b'D.$$

Коэффициенты a , a' , b , b' определяются паспортной точностью ГНСС-приемников, указанных при импорте файлов ГНСС-измерений в проект. Кроме того, в коэффициенты a , a' добавляются ошибки центрирования и измерения высоты антенны, что задаются при настройках проекта в ПО ТВС.

С помощью статистического *τ -теста* проверяется гипотеза о том, что все остаточные невязки имеют нормальное распределение, и выявля-

ются грубые измерения. В отчете по уравниванию в ПО ТВС измерения, не прошедшие τ -тест, обозначаются красным цветом.

Для отображения точности уравненных координат применяются эллипсы (эллипсоиды) ошибок. Эллипс ошибок характеризуется размером и ориентировкой большой и малой полуосей и отмечает размеры области доверия к координатам отдельной точки независимо от любых других точек в уравнивании.

Отчеты по уравниванию. В коммерческих ПО обработки ГНСС-измерений отчеты по уравниванию содержат информацию: наименование системы координат, в которой выполнялось уравнивание, результаты статистического тестирования (χ^2 -тест и τ -тест), число степеней свободы, ковариационные матрицы уравненных координат, уравненные координаты пунктов (эллипсоидальные и в заданной картографической проекции), их СКП, параметры эллипсов ошибок (большая, малая полуоси и ориентировка большой полуоси), их графическое отображение, уравненные измерения.

Порядок выполнения работы

1. Подготовка исходных данных. Сбор сведений о пунктах локальной СГС.

Локальная СГС формируется вокруг начального пункта, координаты которого определялись в лабораторной работе № 2. Вокруг этого пункта необходимо выбрать 5–6 доступных станций ГНСС, принадлежащих той же самой геодезической сети. Если начальный пункт – ФАГС, то и ближайшие пункты будут относиться к ФАГС, если ДГС, то ближайшие пункты будут станциями того же самого оператора.

Сведения о выполнении измерений на пунктах локальной СГС взять с карточки станции на сайте сети (см. прил. 2) и привести в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Сведения о выполнении ГНСС-измерений на пунктах СГС

Спутниковая геодезическая сеть: ...			
Название Пункт	Тип приемника	Тип антенны	Высота антенны
Продолжить для всех пунктов СГС			

Файлы, необходимые для выполнения уравнивания ГНСС-измерений, навигационных сообщений, точных эфемерид, скачать на одну дату. Параметры скачивания файлов приведены в описании лабораторной работы № 2. Заполнить табл. 3.2.

Таблица 3.2

Типы и имена файлов для обработки ГНСС-измерений

Дата: День от начала года DOY: GPS-неделя и номер дня в неделе GPSWeek Number:		
Тип файла	Имя файла	Размер файла
Точные эфемериды		
Навигационное сообщение GPS		
Навигационное сообщение ГЛОНАСС		
Файл ГНСС-измерений/пункт СГС		
<i>Продолжить строки «Файл ГНСС-измерений» для всех пунктов СГС</i>		

Уравнивание локальной СГС будет выполняться с опорой на один исходный пункт, координаты которого были получены при выполнении лабораторной работы № 2. Из этой работы привести название и координаты исходного пункта X, Y, Z, B, L, H с указанием системы координат и эпохи.

Для последующего контроля надо подготовить координаты определяемых пунктов, которые приводятся в карточках станций на сайте оператора СГС. Скорости пунктов, вызванные движением литосферных плит, можно рассчитать с помощью онлайн-калькулятора, ссылка приведена в табл. 2.2. Заполнить табл. 3.3.

Таблица 3.3

Контрольные координаты и скорости определяемых пунктов СГС

Спутниковая геодезическая сеть:...				
Система координат:... Эпоха: ...				
Определяемый пункт	Значения	X V_X	Y V_Y	Z V_Z
...	Координаты, м			
	Скорости м/год			
	Геодезические координаты $B L H$	$B, ^\circ ' ''$	$L, ^\circ ' ''$	$H, \text{ м}$
<i>Заполнить для всех пунктов сети</i>				

Поскольку минимально ограниченное уравнивание выполняется с опорой на один пункт, то уравненные координаты будут в той же системе и на ту же эпоху, что и координаты опорного пункта. Поэтому для выполнения последующего контроля уравнивания координаты X , Y , Z необходимо пересчитать со скоростями на эпоху координат опорного пункта по формулам, приведенным в описании лабораторной работы № 2. Заполнить табл. 3.4.

Таблица 3.4

Координаты определяемых пунктов СГС (контрольные значения)

Спутниковая геодезическая сеть:...			
Система координат:... Эпоха: ...			
Название пункта	$X, м$	$Y, м$	$Z, м$
Продолжить для всех пунктов СГС			

2. Обработка ГНСС-измерений.

2.1. Создание, настройка проекта, импорт данных в проект.

Процедура выполняется аналогично действиям в лабораторной работе № 2. Системой координат проекта в ПО ТВС должна быть принята по умолчанию *WGS-84*. При настройках *СКП* по умолчанию задать ошибки центрирования и измерения высоты антенны, соответствующие пунктам СГС своего варианта.

Импортируются файлы ГНСС-измерений, навигационных сообщений и точных эфемерид. При импорте данных производится проверка типа приемника и антенны, внесение необходимых исправлений (названий точек, методов измерения высоты антенны и пр.). После импорта ГНСС-измерений в окне ПО отобразится схема спутниковой геодезической сети.

2.2. Обработка базовых линий и внешний контроль качества решения.

Обработка базовых линий выполняется аналогично действиям в лабораторной работе № 2. Необходимо добиваться фиксированного решения. После завершения процедуры обработки сделать скриншот экрана с результатами обработки, чтобы занести данные в табл. 3.5, так как в отчете по обработке базовых линий приводятся длины линий на эллипсоиде. От-

чет по обработке базовых линий (*Меню – Отчеты*) просмотреть и сохранить на компьютере.

Таблица 3.5

Характеристики базовых линий

Начало и конец вектора базовой линии	Длина базовой линии, м	Тип решения	Точность в плане, м	Точность по высоте, м	СКП единичного измерения (RMS), м
<i>Продолжить для всех линий в сети</i>					

Внешний контроль качества ГНСС-измерений выполняется путем вычисления невязок в полигоне. Выбрать в меню *Съемка* опцию *Замыкание контура GNSS*. В отчет о работе выписать сведения:

- длина полигона;
- невязка в плане;
- невязка по высоте;
- относительная погрешность.

Сделать заключение о наличии/отсутствии в сети ошибок центрирования или измерения высоты антенны, а также о соответствии невязок паспортной точности приемника.

Если имеются недопустимые невязки в плане и по высоте, следует по возможности идентифицировать пункт с наличием ошибок и исправить их. В крайнем случае исключить пункт из обработки с соответствующим примечанием.

Полученные значения невязок в плане и по высоте при отсутствии грубых ошибок центрирования и измерения высоты антенны могут быть заданы перед выполнением уравнивания в настройках проекта *СКП по умолчанию*.

2.3. Минимально ограниченное уравнивание спутниковой геодезической сети.

Перед уравниванием необходимо сформировать спутниковую геодезическую сеть, исключив из обработки «избыточные» линии. Это могут быть самые длинные линии или линии с плохим качеством решения. Основной принцип формирования сети: исходный пункт должен быть связан

базовыми линиями со всеми определяемыми пунктами, а определяемые – с ближайшими пунктами.

При выполнении работы выбираются стандартные настройки уравнивания в ПО ТВС. В настройках проекта *СКО по умолчанию* задать в строке *GNSS* ошибку измерения высоты антенны и ошибку центрирования. Максимальное количество итераций при уравнивании, а также величину доверительной вероятности (95 %) оставить по умолчанию. Настройки уравнивания перечислить в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Настройки и результаты уравнивания

Настройки уравнивания	Значения	Результаты уравнивания	Значения
Ошибка центрир., м		Пройден ли с первого раза тест χ^2 (да/нет)	
Ошибка измер. высоты антенны, м		Скалярный множитель (если выполнялось взвешивание)	
Максимальное количество итераций		Число степеней свободы (reference factor)	
Доверительная вероятность	95 %	Количество измерений, не прошедших тау-тест (выбросы)	

В ПО ТВС на схеме сети выбрать исходный пункт спутниковой геодезической сети, вызвать правой кнопкой мыши контекстное меню *Свойства*. В окне *Свойства* выбрать значок $\oplus$, ввести точные координаты, назначить им статус *Опорные* (Δ). Точные координаты исходного пункта были определены в лабораторной работе № 2.

Выбрать в главном меню опции *Съемка – Уравнивание*. Зафиксировать положение исходного пункта СГС в плане и по высоте (*2D* и *в*). Подтвердить команду *Уравнять*. В результате уравнивания должны быть успешно пройдены статистические тесты. Если этого не произошло, то следует выполнить процедуру *Взвешивание сети* и повторить ее. Записать величину скалярного множителя в табл. 3.6.

В отчете по работе привести схему уравненной сети с эллипсами ошибок. По виду эллипсов ошибок определить, равноточны ли уравненные координаты пунктов по всем трем направлениям. Найти пункты с мак-

симальными СКП и по возможности объяснить причину больших ошибок на этих пунктах.

Из отчета по уравниванию (*Меню – Отчеты*) выписать значения уравненных координат и их СКП в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Уравненные координаты пунктов локальной СГС в СК ...,
отнесенные к эпохе..., м

Пункт	X	m_X	Y	m_Y	Z	m_Z
	$B, ^\circ ' ''$	m_B	$L, ^\circ ' ''$	m_L	H	m_H
<i>Продолжить для всех пунктов сети</i>						

3. Контроль и анализ результатов работы.

3.1. Сравнение уравненных координат с контрольными значениями.

Свести в табл. 3.8 пространственные прямоугольные координаты X , Y , Z – уравненные (см. табл. 3.7) и контрольные значения (см. табл. 3.4), а также СКП координат из уравнивания. Вычислить разности контрольных и уравненных координат.

Таблица 3.8

Сравнение уравненных координат станций
с контрольными (пример)

Система координат:			Эпоха:		
Идентификатор пункта	Ось координат	Прямоугольные координаты, м		Разность координат, м	m_X , m_Y , m_Z , м
		Контрольные	Уравненные		
(исходный пункт – СКП = 0 и разности = 0)	X	2111995,860	2111995,860	0,000	0
	Y	2235912,310	2235912,310	0,000	0
	Z	5568913,960	5568913,960	0,000	0
	X	1715719,410	1715719,396	0,014	0,002
	Y	2613085,810	2613085,754	0,056	0,002
	Z	5541095,530	5541095,497	0,033	0,005
<i>Продолжить для всех пунктов сети</i>					

Перевести разности ΔX , ΔY , ΔZ , а также соответствующие СКП из табл. 3.8 в разности топоцентрических координат ΔE , ΔN , ΔU по формулам (2.2), заполнить табл. 3.9.

Таблица 3.9

Разности с контрольными значениями координат
в топоцентрической системе, м

Идентификатор пункта	ΔE	m_E	ΔN	m_N	ΔU	m_U
<i>Продолжить для всех пунктов сети</i>						

3.2. Анализ результатов уравнивания.

При анализе результатов минимально ограниченного уравнивания следует ответить на вопросы:

- по виду эллипсов ошибок определить направление, в котором ошибки координат в плане наибольшие. Отметить, что результаты равноточные в плане, если эллипсы ошибок являются окружностями;
- сравнить СКП в плане и по высоте;
- сравнить СКП координат и разности с контрольными значениями – сделать выводы об адекватности оценки точности;
- на основе данных табл. 3.9 отметить, в каком направлении расхождения координат максимальные;
- если расхождения в координатах (уровненные – контрольные) не соответствуют ожидаемой точности, а также СКП обработки базовых линий, то сделать свои предположения о причинах такого расхождения.

Отчет по лабораторной работе № 3 должен содержать все заполненные таблицы с необходимыми промежуточными выводами, схему спутниковой геодезической сети после уравнивания (с эллипсами ошибок) с указанием масштаба, анализ результатов.

Контрольные вопросы

1. Что такое базовая линия?
2. Настройки ПО при решении базовых линий.

3. Критерии качества решения базовых линий. Решение float/fixed.
4. Способы улучшения качества решения базовых линий.
5. Цели и задачи уравнивания.
6. Свободное и минимально ограниченное уравнивание.
7. В какой системе координат, как правило, выполняется минимально ограниченное уравнивание?
8. Объяснить термин «квазигеоцентрическая система координат».
9. Статистические критерии качества уравнивания.
10. Порядок минимально ограниченного уравнивания в ПО ТВС.
11. Критерии для анализа результатов уравнивания.
12. Знания и навыки, полученные при выполнении лабораторной работы № 3.

4. Лабораторная работа № 4

ПРИВЯЗКА ЛОКАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ К ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПЛАНОВОЙ И ВЫСОТНОЙ ОСНОВАМ

Время выполнения: 7 часов аудиторных занятий и 2 часа самостоятельной работы.

Цель и задачи работы: согласование спутниковой геодезической сети и государственной геодезической сети, уравнивание и получение координат пунктов СГС в СК-95 или в МСК, приобретение навыков работы с системами координат в ПО обработки ГНСС-измерений.

Исходные данные:

- результаты минимально ограниченного уравнивания локальной спутниковой геодезической сети (проект из лабораторной работы № 3);
- координаты нескольких пунктов геодезической сети в СК-95;
- схема спутниковой геодезической сети;
- параметры перехода от общеземной СК WGS-84 к референцной СК-95 [8].

Для выполнения работы, составления отчета и ответов на контрольные вопросы рекомендуется ознакомиться с соответствующими разделами изданий [1, 2, 4].

Краткие теоретические сведения

Основным результатом минимально ограниченного уравнивания спутниковой геодезической сети являются координаты пунктов в общеземной системе координат, однако потребителям координатной информации необходимо знать координаты пунктов в государственной (референцной) или в местной СК. Для решения этой задачи выполняется ограниченное уравнивание в необходимой системе координат, с фиксацией положений нескольких пунктов. Дополнительными исходными данными являются координаты пунктов в референцной системе, полученные по результатам

наземных геодезических измерений: триангуляции, полигонометрии, трилатерации, геометрического нивелирования.

Ограниченное уравнивание. Цель ограниченного уравнивания – получение координат пунктов в необходимой координатной системе, в том числе в системе высот. В процессе ограниченного уравнивания выполняется преобразование координат, перевод измеренных разностей геодезических высот в разности нормальных высот. В качестве дополнительных неизвестных берутся параметры связи между системами координат и высот.

С 01.01.2021 Государственной системой координат для выполнения геодезических и картографических работ является геоцентрическая ГСК-2011, реализуемая определенными методами космической геодезии координатами пунктов фундаментальной астрономо-геодезической сети ФАГС, высокоточной геодезической сети ВГС и спутниковой геодезической сети 1-го класса. При этом многие работы, связанные с геодезическим обеспечением территорий, например, кадастровый учет, выполняются в местных системах координат МСК и в референцной СК-95, а высоты пунктов задаются в Балтийской системе высот БСВ-77. Возникает задача перевода результатов спутниковых координатных определений в референцные или местные системы.

Вопросы преобразования различных систем координат рассмотрены в разд. 5.2 учебно-методического пособия [4].

В базах данных коммерческих ПО обработки ГНСС-измерений можно выбрать и установить необходимую систему координат проекта. Связь между системами координат в ПО осуществляется с опубликованными глобальными параметрами трансформирования по формулам, приведенным в стандарте [7] и в пособиях [4, 5]. Кроме того, через утилиту «Менеджер систем координат» можно создавать пользовательские системы, где устанавливаются соответствующие параметры трансформирования, параметры эллипсоида и картографической проекции. Однако простая смена системы координат проекта (с глобальными параметрами преобразования) может привести к грубым ошибкам координат, их несовпадению с контрольными значениями до нескольких метров.

Определить положение пунктов в заданной системе координат и высот на уровне точности измерений можно, выполнив ограниченное уравнивание. При этом в настройках проекта выбираются необходимые система координат и модель геоида. Далее в необходимой системе координат фиксируются положения нескольких пунктов СГС с известными координатами и высотами в требуемой системе.

В результате уравнивания вычисляются координаты пунктов с оценкой точности. Если в исходных данных (координатах ГГС) содержатся ошибки, то ограниченное уравнивание ведет к деформации высокоточной спутниковой сети (изменению азимутов направлений и расстояний).

Определение нормальных высот обеспечивается процедурой *Калибровка по высоте* (лабораторная работа № 6). Влияние ошибок модели квазигеоида на плановые координаты сказывается в изменении масштаба сети на величину порядка dh/R , где dh – смещение квазигеоида по высоте, R – радиус Земли. Как показывают исследования [10], систематическое смещение моделей геоида относительно квазигеоида (в БСВ-77) имеет величину около 0,5 м. Отсюда следует изменение масштаба на величину порядка 10^{-7} , то есть 1 мм на 10 км расстояния. Относительное положение пунктов ГГС, определенное наземными методами в СК-95, хуже минимум на порядок, так что качество ограниченного уравнивания в первую очередь определяется точностью взаимного положения пунктов ГГС, а не ошибками глобальной модели геоида.

Также в процессе ограниченного уравнивания уточняются параметры преобразования координат из одной системы в другую: вектор переноса начала координат $(\delta X, \delta Y, \delta Z)$, вектор разворота координатных осей $(\omega_X, \omega_Y, \omega_Z)$ и масштабный параметр μ , итого 7 дополнительных неизвестных. Для этого уточнения необходимо зафиксировать координаты в референцной системе минимум трех пунктов, расположенных не на одной прямой. Желательно расположение этих пунктов в вершинах равносidedного треугольника, охватывающего территорию локальной СГС. Фиксация координат единственного пункта ГГС дает возможность уточнить только параметры переноса начала координат. Подробное описание

моделей и параметров преобразования изложено в практической работе № 1 по дисциплине «Применение ГНСС в геодезии и навигации» [5].

В лабораторной работе предлагается выполнить уравнивание в созданной пользователем системе координат СК-95, с параметрами, приведенными в стандарте [8].

Результаты уравнивания сети подвергаются статистическим тестам, описанным в практической работе № 3. Для успешного прохождения тестов при настройках уравнивания следует ввести *ошибки центрирования и измерения высоты антенны*, соответствующие ошибкам планового и высотного положений пунктов в референцной системе координат.

Внешним контролем качества уравнивания может служить расхождение уравненных и исходных плановых координат контрольных точек (положения которых не фиксировались при уравнивании). Если расхождения попадают в доверительный интервал, задаваемый СКП, то уравнивание можно считать успешным. Если в ходе обработки обнаружены «выбросы» в контрольных точках, то следует по возможности объяснить полученный результат, выполнить проверку исходных данных (в том числе ошибок ввода исходных координат пунктов в СК-95), уравнивать с другим набором опорных точек, если позволяет их количество.

Порядок выполнения работы

1. Создание проекта, настройка системы координат.

В работе используются проект и результаты минимально ограниченного уравнивания СГС из лабораторной работы № 3. Для выполнения ограниченного уравнивания следует *изменить систему координат* проекта. Далее выбрать кнопку *Группа систем координат и зона*, с левой стороны отметить в списке *Russia CS95* (Coordinate System, СК-95), с правой стороны выбрать соответствующий номер зоны. Подключить в проект *модель геоида EGM2008*.

В табл. 4.1 выписать свойства выбранной системы координат: параметры проекции, эллипсоид и его параметры, параметры перехода от WGS-84 к СК-95. Сравнить параметры перехода для системы координат СК-95, заложенные в базе данных ПО с величинами, опубликованными в стандарте [8].

Параметры системы координат СК-95

Параметры перевода из WGS-84 в СК-95	δX , м	δY , м	δZ , м	ω_X "	ω_Y "	ω_Z "	μ , 10^{-6}
Параметры проекции	Эллипсоид			Долгота осевого меридиана, °	Смещение к северу, м	Смещение к востоку, м	Масштаб вдоль осевого меридиана
	Название	a , м	e				

В лабораторной работе требуется получить координаты пунктов СГС в государственной системе координат СК-95. В случаях если требуется получить положения пунктов в местных, региональных системах координат, параметров которых нет в базе данных ПО, следует создать систему координат пользователя с помощью утилиты *Coordinate System Manager*. Описание работы с утилитой приведено в прил. 5.

2. Ограниченное уравнивание СГС с фиксацией нескольких опорных пунктов в референцной системе координат.

2.1. Задание нескольких опорных пунктов Государственной координатной основы.

В *Проекте* на схеме сети выбрать пункт ГГС, вызвать правой кнопкой мыши контекстное меню *Свойства*. В окне *Свойства* выбрать значок $\oplus$, ввести точные координаты в СК-95 и нормальные высоты из каталога, назначить им статус *Опорные* (Δ). Процедуру повторить для нескольких пунктов. Оставить несколько пунктов ГГС, не участвующих в уравнивании, в качестве контрольных.

Внимание: поскольку номер зоны уже выбран при назначении системы координат проекта, то первые две цифры ординаты при вводе точных координат не указываются.

2.2. Настройки уравнивания.

При выполнении работы выбираются стандартные настройки уравнивания в ПО ТВС. В настройках проекта *СКО по умолчанию* задать в строке *GNSS* ошибку измерения высоты антенны и ошибку центрирования, соответствующие точности планового и высотного положения пунктов ГГС.

Максимальное количество итераций при уравнивании, а также величину доверительной вероятности (95 %) оставить по умолчанию. Настройки уравнивания перечислить в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Настройки и результаты уравнивания

Настройки уравнивания	Значения	Результаты уравнивания	Значения
Ошибка центрир., м		Пройден ли с первого раза тест χ^2 (да/нет)	
Ошибка измер. высоты антенны, м		Скалярный множитель (если выполнялось взвешивание)	
Максимальное количество итераций		Число степеней свободы (reference factor)	
Доверительная вероятность	95 %	Количество измерений, не прошедших тау-тест («выбросы»)	

2.3. Уравнивание и анализ результатов.

Выбрать в главном меню опции *Съемка – Уравнивание*. Зафиксировать положение опорных пунктов ГГС в плане и по высоте (2D и в). Подтвердить команду *Уравнять*. В результате уравнивания должны быть успешно пройдены статистические тесты. Если этого не произошло, то следует выполнить процедуру *Взвешивание сети* и повторить уравнивание. Записать величину скалярного множителя в табл. 4.2.

Проанализировать отчет по уравниванию СГС (*Меню – Отчеты*). По виду эллипсов ошибок определить, равноточны ли уравненные координаты пунктов по всем трем направлениям. Найти пункты с максимальными СКП и по возможности объяснить причину больших ошибок на этих пунктах.

Записать значения уравненных плоских координат и их СКП в табл. 4.3. Сюда же занести исходные координаты пунктов, посчитать разности с уравненными координатами.

Таблица 4.3

Уравненные плоские координаты пунктов в СК-95

Пункт	x , м исходн.	x' , м уравн.	$x - x'$	m_x , м	y , м исходн.	y' , м уравн.	$y - y'$	m_y , м
...								
<i>Продолжить для всех пунктов сети</i>								

В табл. 4.4 записать уравненные геодезические координаты пунктов и их СКП. В столбцах уравненных широты, долготы и разности координат записать только угловые секунды.

Таблица 4.4

Уравненные геодезические координаты пунктов в СК-95

Пункт	B , ° ' " исходн.	B , " уравн.	L , ° ' " исходн.	L , " уравн.	H , м исходн.	H , м уравн.
...						
	$B - B$, "	m_B , м	$L - L$, "	m_L , м	$H - H'$, м	m_H , м
<i>Продолжить для всех пунктов сети</i>						

Сравнить разницы исходных и уравненных координат со средними квадратическими погрешностями. Сделать заключение о наличии или отсутствии «выбросов». Сравнить результаты оценки точности в минимально ограниченном и ограниченном уравнивании. Объяснить причины расхождений.

Отчет по лабораторной работе № 4 должен содержать: все заполненные таблицы, схему уравненной спутниковой геодезической сети с эллипсами ошибок и с указанием масштаба, с отмеченными опорными и контрольными пунктами ГГС, анализ результатов.

Контрольные вопросы

1. В какой системе координат, как правило, выполняется ограниченное уравнивание?
2. Перечислить методы классических (наземных) координатных определений.

3. Исходные данные для уравнивания. Какое минимальное количество пунктов ГГС необходимо зафиксировать для выполнения ограниченного уравнивания?

4. Изменяется ли геометрия спутниковой геодезической сети после ограниченного уравнивания?

5. В результате какого уравнивания – минимально ограниченного или ограниченного – СКП координат получаются меньше? Почему?

6. Почему для достижения требуемой точности недостаточно перевода координат пунктов СГС в референцную систему с заданными в базе данных ПО параметрами трансформирования?

7. Настройки пользовательской системы координат при работе с утилитой *Coordinate System Manager*.

8. Параметры связи систем координат.

5. Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ГЛОБАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Время выполнения: 8 часов аудиторных занятий и 3 часа самостоятельной работы.

Цель и задачи работы: исследование точности получения нормальных высот и уклонов отвесной линии с использованием моделей гравитационного поля Земли, ознакомление с методами получения нормальных высот с помощью ГНСС-измерений и моделей гравитационного поля Земли (ГПЗ), получение навыков грамотного использования этих моделей в ПО обработки ГНСС-измерений.

Исходные данные:

– результаты геометрического нивелирования, астрономических и гравиметрических определений в нескольких пунктах геодезической сети (нормальные высоты, астрономические широта, долгота и азимут, аномалии силы тяжести) (прил. 6, 7);

– результаты минимально ограниченного уравнивания спутниковой геодезической сети (геодезические координаты и высоты в системе ITRF*) (прил. 6, 7).

Краткие теоретические сведения

Глобальные модели гравитационного поля Земли создаются на основе аппроксимации аномального потенциала и/или его трансформант по дискретным данным. Основным методом моделирования является метод разложения геопотенциала в ряд по сферическим функциям. Он базируется на комплексном использовании различных видов измерительной информации, в том числе спутниковых траекторных измерений, данных спутниковой альтиметрии и гравиметрии. Точность и детальность создаваемых мо-

делей зависит от уточнения определяемых коэффициентов и от увеличения предельной степени N сферических гармоник [10].

В Потсдаме (Германия) в институте наук о Земле ведутся разработки моделей ГПЗ, которые публикуются в свободном доступе на сайте Международного центра моделей гравитационного поля ICGEM [25].

В любом современном ПО обработки ГНСС-измерений существует обновляемая база глобальных моделей геоида. После подключения модели в проект можно получать ортометрические высоты (Elevation) вместе с геодезическими (Height). Так, в базе данных ПО Trimble Business Center в файлах с расширением *.ggf содержатся модели ГПЗ в виде совокупности аномалий высоты в узлах регулярной сетки. К таким моделям прилагается математический аппарат интерполяции значений в произвольно заданных точках. В коммерческих ПО обработки ГНСС-измерений используется модель EGM2008, а также более новые модели ГПЗ.

О точности моделей ГПЗ можно судить по ошибкам определения трансформант возмущающего потенциала – высоты квазигеоида ζ , аномалии силы тяжести Δg , составляющих отклонений отвесной линии в меридиане и первом вертикале ξ, η . В настоящей лабораторной работе выполняется исследование точности получения высоты квазигеоида и отклонений отвесной линии с помощью глобальной модели ГПЗ EGM2008, а также сравнение этой модели с другими (например, с ее предыдущей версией EGM96).

Для выполнения практической работы необходимо иметь четкое представление об основных отсчетных поверхностях (геоид, квазигеоид, эллипсоид), а также видах высот в геодезии (геодезические, нормальные, ортометрические), (см. курс высшей геодезии, а также [4, 9]).

Основная цель лабораторной работы состоит в освоении метода спутникового нивелирования – получения нормальных высот с помощью ГНСС-измерений и модели квазигеоида.

Необходимая в геодезической практике нормальная высота H^y вычисляется из геометрического соотношения, связывающего геодезическую (эллипсоидальную) высоту H , нормальную высоту H^y и высоту квазигеоида ζ

$$H^{\gamma} = H - \zeta, \quad (5.1)$$

где H – геодезическая высота, получаемая из уравнивания ГНСС-измерений;

ζ – высота квазигеоида над эллипсоидом.

В ГНСС-технологиях аномалию высоты, как правило, получают с использованием глобальных, региональных или локальных моделей квазигеоида.

В простом на первый взгляд соотношении (5.1) имеются систематические сдвиги во всех трех компонентах. Можно записать

$$\zeta + \delta\zeta = (H + \delta H) - (H^{\gamma} + \delta H^{\gamma}), \quad (5.2)$$

где δH , δH^{γ} , $\delta\zeta$ – соответствующие систематические смещения.

Основные причины систематических смещений по высоте рассмотрены в учебном пособии [4]. При получении нормальных высот по данным ГНСС-измерений совместно с моделью ГПЗ необходимо помнить о существовании этих смещений и грамотно применять модели геоида/квазигеоида для получения наилучших результатов.

В лабораторной работе, кроме исследования точности высот квазигеоида, предусмотрено определение составляющих отклонения отвесной линии с помощью модели ГПЗ, а также вычисление астрономических координат и азимутов. Как известно из курсов высшей геодезии, гравиметрии, отклонение отвесной линии (в геометрическом определении) – угол между направлением вектора силы тяжести и нормалью к эллипсоиду в заданной точке. В геодезии, как правило, используют составляющие отклонения отвесной линии – в меридиане ξ и первом вертикале η . Отклонения отвесной линии в первом приближении могут рассматриваться и как углы между поверхностями эллипсоида и квазигеоида. Отклонения отвесной линии связывают относящиеся к отвесной линии астрономические координаты (долгота λ , широта φ и азимут a^*) и геодезические координаты (L, B, H), относящиеся к нормали к эллипсоиду

$$\varphi = B + \xi, \lambda = L + \eta / \cos B, a^* = a + (\lambda - L) \sin B - (\eta \cos a - \xi \sin a) / \operatorname{tg} Z, \quad (5.3)$$

где a, Z – геодезический азимут и зенитное расстояние направления.

Для выполнения работы, составления отчета и ответов на контрольные вопросы рекомендуется ознакомиться с соответствующими разделами изданий [4, 9, 10].

Порядок выполнения работы

1. Оценка точности получения нормальных высот в ГНСС-технологиях с использованием глобальных моделей гравитационного поля Земли.

1.1. Получение нормальных высот с использованием глобальных моделей геоида.

В работе исследуются две глобальные модели – EGM96 и EGM2008 или две другие, по заданию преподавателя. Сначала следует создать новый проект в ТВС, где во вкладке *Системы координат* выбрать опцию *Изменить систему координат* и подключить необходимую модель геоида из списка. Основной системой координат должна остаться WGS-84.

Если заданной модели нет в списке, то следует вызвать утилиту *Coordinate System Manager* и подключить новую модель ГПЗ (см. прил. 5).

В меню ПО ТВС выбрать опцию *Вставка* и вставить точки по заданным в варианте геодезическим координатам L, B, H , полученным в результате уравнивания спутниковой геодезической сети (см. прил. 6). Схему расположения точек с указанием масштаба привести в отчете по работе.

Вызвать в основном меню *Вид – Таблица точек* и выписать нормальные высоты пунктов спутниковой геодезической сети или выписать высоты точек из контекстного меню *Свойства*. В табл. 5.1 записать полученные значения с использованием моделей EGM96, EGM2008 (или двух других), а также известные нормальные высоты, полученные из геометрического нивелирования. Здесь же получить разности вычисленных по модели и измеренных значений высот, а также разности высот, полученных из двух моделей.

Таблица 5.1

Использование глобальных моделей ГПЗ
для вычисления нормальных высот пунктов

Имя точки	H^γ , м исходн.	H^γ , м EGM-96 (модель 1)	H^γ , м EGM-08 (модель 2)	Разности, м		
	1	2	3	(2–1)	(3–1)	(3–2)
...						
Продолжить для всех точек						

Нормальные (ортометрические) высоты по модели ГПЗ можно определить другими способами – например, с помощью онлайн-калькулятора UNAVCO (см. контрольную работу для заочников) или с помощью калькулятора на сайте ICGEM.

1.2. Определение и исключение систематического сдвига по высоте.

Вычислить для обеих моделей среднее арифметическое из разностей нормальных высот, вычисленных по модели и измеренных (систематическое смещение dh):

$$dh(96) = \quad , \quad dh(2008) = \quad .$$

Исправить вычисленные по моделям нормальные высоты, отняв от каждого значения систематический сдвиг dh . Заполнить табл. 5.2.

Таблица 5.2

Использование глобальных моделей ГПЗ для вычисления нормальных
высот пунктов. Снятие систематического смещения по высоте dh

Имя точки	H^γ , м исходн.	$H^\gamma - dh$, м EGM-96 (модель 1)	$H^\gamma - dh$, м EGM-08 (модель 2)	Разности, м	
	1	2	3	(2–1)	(3–1)
...					
Продолжить для всех точек					

Вычислить средние квадратические погрешности получения нормальных высот по формуле

$$\text{СКП} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}},$$

где $i = 1, \dots, n$; n – количество определяемых точек; v_i – разности вычисленных и измеренных нормальных высот после исключения систематического сдвига (из табл. 5.2).

Записать значения СКП для двух моделей:

$$\text{СКП}(96) = \quad, \quad \text{СКП}(2008) = \quad.$$

1.3. Анализ полученных результатов.

Указать величину полученного систематического сдвига по высоте и объяснить его причины. Сравнить модели EGM 2008 и EGM96 между собой. Оценить точность получения нормальных высот (к какому классу нивелирования можно отнести полученные результаты). Дать рекомендации по использованию моделей ГПЗ в ГНСС-технологиях, а также по повышению точности получения нормальных высот с помощью ГНСС-измерений и моделей квазигеоида.

2. Оценка точности получения астрономических координат (φ, λ) и азимутов направлений α^* с использованием глобальной модели ГПЗ.

2.1. Применение численного метода для определения уклонений отвесной линии.

Принцип приближенного определения наклона квазигеоида к эллипсоиду численным методом можно отобразить на рис. 5.1.

Как видно из рисунка, наклон i квазигеоида относительно эллипсоида в направлении АБ может быть вычислен по формуле

$$i'' = 206265''(\zeta_B - \zeta_A) / S,$$

где $\zeta_A = H_A - H_A^\gamma$ – высота квазигеоида над эллипсоидом в точке А;

$\zeta_B = H_B - H_B^\gamma$ – высота квазигеоида над эллипсоидом в точке В;

S – расстояние между точками А и Б на эллипсоиде.

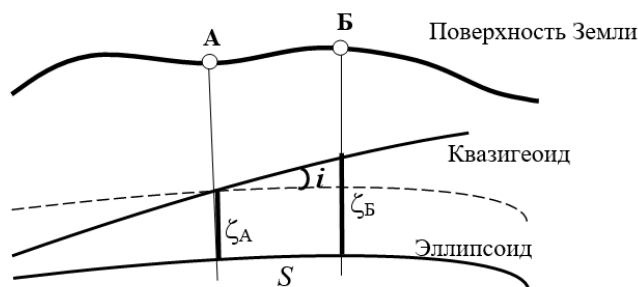


Рис. 5.1. Схема определения наклона квазигеоида относительно эллипсоида

Если две точки расположены в одном меридиане, то полученный наклон есть уклонение отвесной линии в плоскости меридиана ξ ; перпендикулярное же направление дает уклонение отвесной линии в плоскости первого вертикала η .

Вычисление уклонений отвесной линии выполняется в следующем порядке. Создать новый проект в ТВС, подключить модель EGM2008. Вставить в проект ТВС два пункта, астрономические и геодезические координаты которых известны (см. прил. 7). В окрестностях каждого пункта добавить по четыре точки: две в меридиане на расстоянии $\pm\Delta B$ и две в первом вертикале на расстоянии $\pm\Delta L$. Шаг ΔB и ΔL задается преподавателем. Примерная схема расположения точек изображена на рис. 5.2.

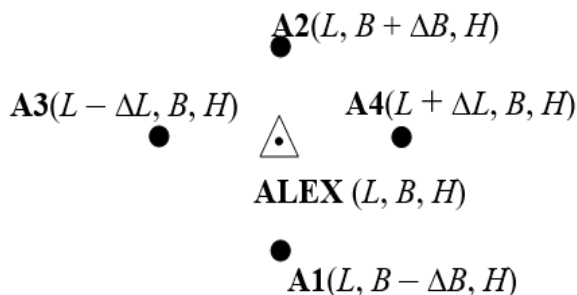


Рис. 5.2. Схема расположения точек для определения уклонений отвесной линии

В каждой из четырех точек вычислить высоты квазигеоида над эллипсоидом $\zeta = H - H^\gamma$, где геодезические и нормальные высоты выписываются из *Таблицы точек*. Далее вычисляются разности высот квазигеоида в меридиане и первом вертикале:

$$\Delta\zeta_B = \zeta_2 - \zeta_1, \quad \Delta\zeta_L = \zeta_4 - \zeta_3.$$

Полученные результаты следует занести в табл. 5.3.

Уклонения отвесной линии в плоскостях меридиана ξ и первого вертикала η вычисляются по формулам:

$$\xi'' = -206265'' \frac{\Delta\zeta_B}{2\Delta B \cdot M}, \quad \eta'' = -206265'' \frac{\Delta\zeta_L}{2\Delta L \cdot N \cos B},$$

где ΔB и ΔL выражены в радианах.

В формулах M , N – радиусы кривизны эллипсоида в меридиане и в первом вертикале

$$M = a(1 - e^2) / (1 - e^2 \sin^2 B)^{3/2}; \quad N = a / (1 - e^2 \sin^2 B)^{1/2}.$$

Результаты вычисления уклонений отвесной линии занести в табл. 5.3

Таблица 5.3

Результаты вычисления уклонений отвесной линии

Точки	H , м	H' , м	ζ , м	$\Delta \zeta$, м	ξ , "
1					
2					
					η , "
3					
4					

2.2. Вычисление астрономических координат и азимутов направлений.

Астрономические широта ϕ , долгота λ и азимут направления a^* вычисляются по формулам (5.3), приведенным в теоретической части лабораторной работы. В прил. 7 даны геодезические координаты, геодезиче-

ский азимут и зенитное расстояние направления. Результаты вычисления астрономических координат и азимутов занести в табл. 5.4. Сюда же записать исходные (измеренные) астрономические координаты и азимуты (см. прил. 7), вычислить разности исходных и измеренных значений.

Таблица 5.4

Результаты вычисления астрономических координат и азимутов
с использованием глобальной модели геоида

Идентифи- катор	φ λ исходн., 0' "	φ λ вычисл., 0' "	Разности астр. коорд., "	a^* исходн., 0' "	a^* вычисл., 0' "	Разности азимутов, ' "

2.3. Анализ полученных результатов и выводы.

Указать, к какому классу астрономических определений можно отнести полученные результаты вычисления астрономических координат. Оценить априорную точность вычислений отклонений отвесной линии (основываясь на количестве значащих цифр). Сделать заключение о точности глобальной модели гравитационного поля Земли по представлению отклонений отвеса.

Контрольные вопросы

1. Основная формула для вычисления нормальных высот в ГНСС-технологиях. От чего зависит точность вычисляемой нормальной высоты?
2. Источники систематических сдвигов по высоте в спутниковом нивелировании.
3. Глобальные модели гравитационного поля Земли, используемые в ГНСС-технологиях для вычисления нормальных высот.
4. Модель EGM2008: исходные данные для построения, степень, форма представления, точность.

5. Какому классу нивелирования соответствуют нормальные высоты, полученные в работе? Пути повышения точности нормальных высот, получаемых с помощью модели квазигеоида.

6. Геометрическое определение уклонов отвесной линии.

7. Какому классу астрономических определений соответствуют астрономические координаты и азимуты, полученные в работе?

8. Определение геодезических и нормальных высот.

9. Определение геодезических и астрономических координат.

6. Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЛОКАЛЬНОГО КВАЗИГЕОИДА ПО СПУТНИКОВЫМ, НИВЕЛИРНЫМ, АСТРОНОМИЧЕСКИМ И ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Время выполнения: 6 часов аудиторных занятий и 4 часа самостоятельной работы.

Цель и задачи работы: освоение методики определения параметров модели локального квазигеоида с помощью модуля «Калибровка по высоте» в ПО обработки ГНСС-измерений, вычисление нормальных высот точек локальной спутниковой геодезической сети, оценка точности параметров модели и нормальных высот.

Исходные данные:

- результаты геометрического нивелирования в нескольких пунктах геодезической сети (см. прил. 6);
- результаты минимально ограниченного уравнивания спутниковой геодезической сети (геодезические координаты и высоты в системе ITRF*) (см. прил. 6).

Для выполнения работы, составления отчета и ответов на контрольные вопросы рекомендуется ознакомиться с соответствующими разделами изданий [4, 18].

Краткие теоретические сведения

В ГНСС-технологиях точность вычисления нормальных высот на ограниченной территории можно повысить путем построения математической модели локального квазигеоида. Для этого необходимо, чтобы в нескольких пунктах спутниковой геодезической сети с координатами (B , L , H) были известны нормальные высоты H^{γ} из геометрического нивелирования. В качестве дополнительной информации могут быть уклонения отвесной линии (ξ , η), получаемые из астрономических определений координат (φ , λ) (формула (5.3)), а также аномалии силы тяжести Δg [18].

Поверхность квазигеоида можно строить с использованием различных математических моделей (сплайны, полиномы, вейвлеты). Для небольших областей размером несколько десятков километров наиболее простым и подходящим вариантом построения локальной модели квазигеоида является аппроксимация поверхности квазигеоида полиномами низких степеней (первого или второго порядка). Краткая теория построения локальных моделей квазигеоида по результатам геометрического нивелирования, ГНСС-измерений, астрономических и гравиметрических определений изложена в пособии [4].

В коммерческих ПО обработки ГНСС-измерений (ПО ТВС) для улучшения качества получения нормальных высот используется процедура, называемая *Калибровка по высоте*. Здесь определяются параметры полиномиальной модели первого порядка по степеням разностей плоских координат в какой-либо выбранной проекции:

$$a_{00} + a_{10}(x_i - x_0) + a_{01}(y_i - y_0) = H_i - H_i^\gamma, \quad i = 1, \dots, k, \quad (6.1)$$

где x_i, y_i – координаты текущей точки, в которой известны нормальная H_i^γ и геодезическая H_i высоты;

x_0, y_0 – координаты некоторой начальной точки;

a_{00} – высота квазигеоида над эллипсоидом в начальной точке;

a_{10}, a_{01} – наклоны квазигеоида относительно эллипсоида в точке (x_0, y_0) в направлении меридиана и первого вертикала соответственно.

Если в Проект ТВС уже подключена модель квазигеоида, то в правой части системы уравнений, решаемой при выполнении процедуры *Калибровка по высоте*, будут разности нормальных высот $H_{\text{геоид}}^\gamma$, полученных по модели, и измеренных нормальных высот H^γ

$$a'_{00} + a'_{10}(x_i - x_0) + a'_{01}(y_i - y_0) = (H_{\text{геоид}}^\gamma - H^\gamma)_i, \quad i = 1, \dots, k. \quad (6.2)$$

Здесь $a'_{00}, a'_{10}, a'_{01}$ – остаточное смещение по высоте и остаточные наклоны квазигеоида, определяемого измеренными нормальными высотами, относительно его модели.

При калибровке по высоте параметры модели находятся из решения системы уравнений (6.1) или (6.2) по методу наименьших квадратов, с оценкой точности. Далее с использованием найденных параметров модели можно получать нормальные высоты в точках с заданными координатами в пределах области аппроксимации. В ПО ТВС эта процедура реализуется через *Калибровку участка* и соответствующую *смену системы координат* Проекта.

Порядок выполнения работы

1. Определение параметров модели локального квазигеоида.

В Проекте выполнить *Изменение системы координат* и отключить глобальную модель квазигеоида. Перед выполнением *Калибровки по высоте* надо вставить в Проект сдвоенные точки: одна точка в паре имеет геодезические координаты (B, L, H) в общеземной системе, другая – плоские координаты (*grid*) (x, y) и нормальную высоту H^y . Названия сдвоенных точек не должны совпадать: например, если точка с геодезическими координатами носит название 123, то для составления пары точку с плоскими координатами и нормальной высотой следует переименовать, например, в 123g.

После вставки парных точек вызывается меню *Съемка – Калибровка участка – Параметры калибровки – Вертикальная калибровка*. Здесь следует задать определение *трех параметров* – сдвига по высоте и наклонов. Из вкладки *Список точек* выбрать пары точек для расчетов параметров калибровки. Одну или две точки из списка (по указанию преподавателя) оставить в качестве контрольных для последующей проверки правильности вычислений – не включать в расчет параметров. Кнопка *Рассчитать* запускает процесс определения параметров, после чего во вкладке *Результаты* можно посмотреть сводку вычислений.

Кнопка *Сохранить как участок* позволяет использовать данные вычислений для создания новой системы координат. Результаты ГНСС-измерений, выполненных на территории калиброванного участка, в новой системе координат будут обеспечены уточненными значениями нормальных высот.

Из *Отчета по калибровке* выписать параметры преобразования – смещение (метры) и наклоны локального квазигеоида ($\rho_{\text{прт}} - 1\text{ мм/км}$), координаты начальной точки (x_0, y_0), среднюю квадратическую погрешность, а также таблицу с невязками в узловых точках. Пересчитать наклоны в угловые секунды.

Изменить систему координат Проекта на *калиброванный участок*, сравнить в контрольных точках вычисленные и измеренные нормальные высоты. Результаты оформить в табл. 6.1 и 6.2.

Задать систему координат проекта с подключением глобальной модели EGM2008. Выполнить действия, аналогичные действиям при калибровке без подключения модели ГПЗ. Занести результаты в табл. 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1

Параметры калибровки и средние квадратические погрешности решения

Параметры	Без подключения модели EGM2008	С подключением модели EGM2008
x_0 (восток), м		
y_0 (север), м		
ζ_0 , м		
ξ_0 , "		
η_0 , "		
СКП, м		

Таблица 6.2

Результаты вычисления нормальных высот
в узловых и контрольных точках

Точки	H^y , м – измеренная	Без подключения модели EGM2008		С подключением модели EGM2008	
		H^y , м вычисл.	(выч.-изм.), м	H^y , м вычисл.	(выч.-изм.), м
Узловые точки					
...					
Контрольные точки					
...					

2. Анализ результатов выполнения работы.

Вариант без подключения модели ГПЗ. Оценить значения наклонов квазигеоида к эллипсоиду: сравнить с отклонениями отвеса, определенными в лабораторной работе № 5; сделать выводы, имеют ли они правдоподобное значение (до 4"). Если полученные наклоны оказались слишком велики, следует объяснить данные результаты.

Вариант с подключением модели ГПЗ. Сравнить смещение по высоте в начальной точке и систематический сдвиг по высоте, полученный в лабораторной работе № 5. Объяснить расхождение между этими параметрами. Оценить значения поправок в глобальную модель EGM2008 за наклоны квазигеоида: соответствуют они или нет СКП определения отклонений отвесной линии, заявленной для данной глобальной модели.

Проанализировать расхождения между вычисленными и измеренными нормальными высотами в узловых и контрольных точках. Определить наличие «выбросов» как в узловых, так и в контрольных точках (если расхождение превышает 2СКП). Объяснить причину этих выбросов (например, расположение на краю области аппроксимации или вне ее, невысокая точность нивелирования, грубые ошибки при ГНСС-измерениях и пр.).

Сделать оценку, какому классу геометрического нивелирования соответствует данное определение нормальных высот. Дать заключение о том, каким методом (с подключением модели ГПЗ или нет) в данном случае нормальные высоты получены с более высокой точностью.

Отчет по лабораторной работе № 6 должен содержать все заполненные таблицы, схему расположения узловых и контрольных точек с указанием масштаба, подробный анализ результатов (п. 3 работы).

Контрольные вопросы

1. Перечислить параметры модели локального квазигеоида, определяемые в работе. Назвать их геометрический смысл.
2. Исходные данные для калибровки по высоте. Порядок калибровки.
3. Пути повышения точности калибровки по высоте.
4. Сколько параметров модели квазигеоида можно определить по одной узловой точке?
5. Почему после подключения глобальной модели квазигеоида в проект все равно необходимо выполнять калибровку по высоте?

7. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ НА ЗАОЧНОМ ОТДЕЛЕНИИ

Цель и задачи работы: закрепление теоретических знаний о современных геодезических методах создания государственной координатной основы, приобретение навыков работы с геопространственной информацией, онлайн-сервисами обработки ГНСС-измерений, формирование умений анализировать получаемые результаты.

Исходные данные:

– пункт фундаментальной астрономо-геодезической сети, дата ГНСС-измерений. Выдаются преподавателем по варианту работы (номер – порядковый в списке обучающихся), документ с вариантами прилагается в ЭИОС.

Контрольная работа для заочников состоит из 4 частей, все выполняются самостоятельно. В период сессии обсуждаются результаты, проводятся консультации по завершению работы, происходит защита работы в виде ответов на контрольные вопросы.

Для выполнения работы, составления отчета и ответов на контрольные вопросы рекомендуется ознакомиться с теоретическими сведениями к лабораторным работам в настоящем практикуме, а также с соответствующими разделами [4].

1. Поиск сведений о пунктах ГГС, ГНС, представленных на ФППД.

1.1. Подготовка исходных данных и настройки поиска.

Выписать географические координаты заданного по варианту пункта ФАГС. Информация о пунктах содержится на сайте Центра точных эфемерид RGS-Center [23], порядок получения сведений о пунктах ФАГС приведен в прил. 1. Определить и записать территориально-административную принадлежность этого пункта (область, район, город), географические координаты. Заполнить табл. 7.1.

Сведения о расположении пункта ФАГС

Название пункта	
Принадлежность к СГС	
Область (край)	
Район	
Город	
Географические координаты:	
– широта;	
– долгота	

Зайти на сайт Федерального портала пространственных данных (ФППД) ППК Роскадастр [21]. На главной странице открыть вкладку «Сведения о пунктах государственных геодезической, нивелирной, гравиметрической сетей, геодезических сетей специального назначения». Необходимая информация о пунктах ГГС и ГНС открывается в соответствующих папках на странице. В фильтре поиска отметить основные настройки: местонахождение территории, административно-территориальное деление (район или городской округ), систему высот (Балтийская 1977 г.).

1.2. Поиск сведений о пунктах нивелирной и геодезической сети.

1.2.1. Поиск сведений о пунктах нивелирной сети.

В дополнительном фильтре поиска выбрать класс пункта, где отметить I и II класс геометрического нивелирования. На карте отобразится местоположение этих пунктов, а в таблице – сведения о них. В отчете привести скриншот карты общего расположения пунктов ГНС, где отметить положение заданного по варианту пункта СГС. Найти 5 действующих пунктов ГНС, ближайших к заданному по варианту пункту СГС. Составить таблицу со всеми приведенными на сайте сведениями о выбранных пунктах. Привести увеличенные фрагменты топографической карты, где отмечены выбранные пункты.

1.2.2. Поиск сведений о пунктах геодезической сети.

В дополнительном фильтре поиска выбрать класс пункта, где отметить астрономо-геодезическую сеть 1-го и 2-го классов. На карте отобразится местоположение пунктов ГГС, а в таблице – сведения о них. В отчете привести скриншот карты общего расположения пунктов ГГС, где от-

метить положение заданного по варианту пункта СГС. Найти пять действующих пунктов ГГС, ближайших к заданному по варианту пункту СГС. Составить таблицу со всеми приведенными на сайте сведениями о выбранных пунктах. Привести увеличенные фрагменты топографической карты, где отмечены выбранные пункты.

1.3. Составление отчета.

Отчет должен содержать табл. 7.1, карты расположения всех выбранных пунктов (в том числе, и пункта ФАГС) для ГНС и ГГС, таблицы со сведениями о выбранных пунктах. В заключении сделать выводы о количестве выбранных пунктов в районе работ.

Контрольные вопросы: см. вопросы к лабораторной работе № 1 в настоящем практикуме.

2. Определение координат пункта ФАГС – исходного пункта спутниковой геодезической сети.

2.1. Сбор исходных данных для выполнения работы.

2.1.1. Сведения об определяемом пункте ФАГС.

Сведения о пунктах ФАГС, Rinx-файлы для постобработки (здесь нужна регистрация) доступны на сайте Центра точных эфемерид ППК Роскадастр [23]. Порядок получения информации приведен в прил. 1; результаты занести в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Сведения о выполнении ГНСС-измерений на пункте ФАГС

Название пункта	Имя Rinx-файла ГНСС-измерений	Тип приемника	Тип антенны	Высота антенны
...				

Для контроля и анализа результатов определения координат понадобятся координаты пунктов X , Y , Z в ГСК-2011 в прямоугольной пространственной системе, а также скорости смещения пунктов V_x , V_y , V_z , вызванные в основном глобальным движением литосферных плит. Для большинства пунктов ФАГС скорости известны, но если на сайте их нет, следует

воспользоваться калькулятором UNAVCO (см. ссылку в табл. 2.2). Контрольные значения координат пункта и скорости занести в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Контрольные значения координат и скорости пункта ФАГС

Система координат: ГСК-2011. Эпоха: 2011				
Пункт ФАГС	Значения	X V_X	Y V_Y	Z V_Z
...	Координаты, м			
	Скорости, м/год			

2.2. Обработка ГНСС-измерений на определяемом пункте.

Обработка ГНСС-измерений и определение координат пункта ФАГС выполняется в данной контрольной работе относительным методом ГНСС с помощью онлайн-сервиса обработки AUSPOS [24]. Прежде чем спуститься вниз по странице до кнопки «Submit your data to AUSPOS» («загрузить данные в AUSPOS»), следует внимательно прочитать (можно с помощью автопереводчика) требования к файлам ГНСС-измерений и убедиться, что обрабатываемый файл соответствует этим требованиям. После нажатия кнопки «Submit» появится окно, показанное на рис. 7.1.

В окне выбрать файл, найти в списке тип антенны и указать ее высоту, а также привести адрес своей электронной почты, на который будет отправлен отчет по обработке. Если тип антенны в списке отсутствует, то оставить «по умолчанию» (default). После этого нажать на кнопку «Submit». Через некоторое время (как правило, не более суток) на почту придет отчет по обработке – файл в pdf-формате.

Online GPS Processing Service

System Status: ●

Load RINEX Files*

Имя файла

File Name	Height (m)	Antenna Type
ORDPR.25o	0 Scan	DEFAULT(NONE) x Search ☒ DEFAULT(NONE) ☐ 3COAG35H NONE ☐ 3COAG35 NONE ☐ 3COAT106 NONE

Высота антенны, м

Адрес эл. почты

Email Address*

Submission Checklist

Тип антенны

Date	Notification

Рис. 7.1. Окно загрузки файла для обработки в онлайн-сервисе AUSPOS

В отчете AUSPOS содержится карта расположения и список использованных в относительном методе пунктов IGS (рис. 7.2), координаты определяемого пункта с оценкой точности.



Рис. 7.2. Карта расположения пунктов IGS и определяемого пункта

Из табл. 3 отчета AUSPOS выписать в табл. 7.4 прямоугольные координаты X , Y , Z и эллипсоидальные координаты B , L , H . Оценка точности координат в отчете представлена средними квадратическими погрешностями долготы, широты и высоты (m_E , m_N , m_U) соответственно.

Вычисление погрешностей в экваториальной системе координат (m_X , m_Y , m_Z) выполняется по формулам

$$\begin{bmatrix} m_X \\ m_Y \\ m_Z \end{bmatrix} = \mathbf{R} \cdot \begin{bmatrix} m_E \\ m_N \\ m_U \end{bmatrix}, \quad (7.1)$$

где

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -\sin L & -\sin B \cos L & \cos B \cos L \\ \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \sin L \\ 0 & \cos B & \sin B \end{bmatrix}$$

– матрица преобразования топоцентрических координат в экваториальные.

Результаты определения координат пункта ФАГС относительным методом с помощью онлайн-сервиса AUSPOS привести в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Координаты пункта ФАГС, полученные на дату наблюдения
относительным методом с помощью сервиса AUSPOS

X , м	m_X , м	Y , м	m_Y , м	Z , м	m_Z , м
L , °	m_E , м	B , °	m_N , м	H , м	m_U , м

2.3. Анализ результатов определения координат пункта ФАГС относительным методом.

Важной особенностью онлайн-сервиса AUSPOS является то, что результаты координатных определений отнесены к среднему моменту

ГНСС-измерений. Для оценки реальной точности координат следует сравнить результаты с контрольными значениями, для чего их надо привести к эпохе 2011.0, на которую приведены координаты пунктов ФАГС на официальном сайте. Такая процедура выполняется с известными скоростями пункта V_X , V_Y , V_Z (см. табл. 7.3), по формулам

$$\begin{aligned} X_{t0} &= X_t + V_X(t_0 - t), \\ Y_{t0} &= Y_t + V_Y(t_0 - t), \\ Z_{t0} &= Z_t + V_Z(t_0 - t), \end{aligned} \quad (7.2)$$

где t_0 – эпоха каталога (для ГСК-2011 $t_0 = 2011.0$);

t – средний момент ГНСС-измерений, выраженный в годах и долях года;

$t = \text{год} + \text{DOY}/365$, DOY – день от начала года.

В табл. 7.5 выписать контрольные значения координат, вычисленные значения на 2011.0, а также разность между ними.

Таблица 7.5

Разности вычисленных координат пункта ФАГС
с контрольными значениями, м

Система координат: ГСК-2011			Эпоха: 2011.0		
X уравни		Y уравни		Z уравни	
X контр		Y контр		Z контр	
ΔX		ΔY		ΔZ	
m_X		m_Y		m_Z	

Сравнить разности координат в табл. 7.5 с СКП из уравнивания. Сделать выводы об адекватности оценки точности. Если оценка точности не адекватна, предположить причины возникновения больших расхождений в координатах. Перевести разности ΔX , ΔY , ΔZ из табл. 7.5 в разности топоцентрических координат ΔE , ΔN , ΔU , а также соответствующие СКП по формулам (2.2) и заполнить табл. 7.6.

Таблица 7.6

Разности с контрольными значениями координат
в топоцентрической системе, м

Система координат: ГСК-2011				Эпоха: 2011.0		
Пункт	ΔE	m_E	ΔN	m_N	ΔU	m_U

Отметить, в каком направлении расхождения в топоцентрических координатах максимальные. Соответствуют ли расхождения в топоцентрических координатах оценке точности.

Контрольные вопросы: см. вопросы к лабораторной работе № 2 в настоящем практикуме.

3. Определение координат пунктов спутниковой геодезической сети.

3.1. Получение исходных данных для выполнения работы.

3.1.1. Сбор сведений об определяемых пунктах.

Определяемые пункты – дифференциальные геодезические станции (ДГС) сети EFT CORS, расположенные поблизости от пункта ФАГС. Карта расположения станций, информация о станциях, их координаты приведены на сайте <https://eft-cors.ru/>. Для скачивания RINEX-файлов для постобработки необходима регистрация на сайте.

Для выполнения работы надо выбрать 5–6 станций сети EFT CORS, найти информацию о них и скачать RINEX-файлы ГНСС-измерений (см. прил. 2). Информацию о выполнении ГНСС-измерений занести в табл. 7.7.

Таблица 7.7

Сведения о выполнении ГНСС-измерений

Название пункта	Имя RINEX-файла ГНСС-измерений	Тип приемника	Тип антенны	Высота антенны
...				
<i>Продолжить для всех пунктов сети</i>				

Для контроля и анализа результатов определения координат понадобятся координаты пунктов X , Y , Z в прямоугольной пространственной си-

стеме (из карточки пункта на сайте), а также скорости смещения пунктов V_x , V_y , V_z (вычислить с помощью онлайн-калькулятора UNAVCO, см. ссылку в табл. 2.2). Контрольные значения координат пунктов и скорости занести в табл. 7.8.

Таблица 7.8

Контрольные значения координат и скорости определяемых пунктов

Система координат: Эпоха:				
Определяемый пункт	Значения	X V_X	Y V_Y	Z V_Z
...	Координаты, м			
	Скорости, м/год			
<i>Продолжить для всех выбранных пунктов</i>				

3.2. Обработка ГНСС-измерений.

Обработка ГНСС-измерений выполняется с помощью онлайн-сервиса AUSPOS (табл. 7.9), аналогично определению координат пункта ФАГС в разд. 2 контрольной работы.

Таблица 7.9

Координаты пунктов, полученные на дату наблюдения относительным методом с помощью сервиса AUSPOS

Пункт	X , м	m_X , м	Y , м	m_Y , м	Z , м	m_Z , м
	L , °	m_E , м	B , °	m_N , м	H , м	m_U , м
<i>Продолжить для всех пунктов сети</i>						

3.3 Контроль результатов вычисления координат.

Полученные с помощью сервиса AUSPOS на эпоху t координаты необходимо привести к эпохе t_0 каталога по формулам (7.2). Здесь t_0 – эпоха каталога, указанная в карточке станции на сайте оператора. Далее заполнить табл. 7.10, где сравнить вычисленные координаты с контрольными значениями.

Таблица 7.10

Результаты контроля определения координат пунктов

Эпоха	X , м	Y , м	Z , м
Координаты на эпоху наблюдения (AUSPOS)			
Скорости, м/год			
$(t_0 - t)$, в годах долях года			
Поправки в координаты $V(t_0 - t)$			
Координаты, приведенные к эпохе каталога t_0			
Контрольные значения координат на t_0			
Разности вычисленных (AUSPOS) и контрольных значений			

Пересчитать разности координат в топоцентрическую систему по формулам (2.2) и заполнить табл. 7.11.

Таблица 7.11

Разности координат в топоцентрической системе, м

Пункт	ΔE	m_E	ΔN	m_N	ΔU	m_U
Заполнить для всех пунктов сети						

Отметить, в каком направлении расхождения в топоцентрических координатах максимальные. Соответствуют ли расхождения в топоцентрических координатах оценке точности?

3.4. Преобразование координат пунктов сети в другую систему.

Преобразование координат в другую систему (например, СК-95, МСК**) будет выполняться на сессии во время лабораторных работ по расписанию.

Контрольные вопросы: см. вопросы к лабораторным работам № 3, 4, 5 в настоящем практикуме.

4. Оценка точности определения нормальных высот в ГНСС-технологиях с использованием глобальных моделей ГПЗ.

4.1. Подготовка исходных данных.

Исходные данные: результаты обработки ГНСС-измерений, геодезические координаты в системе WGS-84 (B , L , H); нормальные высоты из геометрического нивелирования $H_{\text{измер}}^{\gamma}$ – приведены в прил. 6 по номеру варианта (номеру в списке обучающихся). В работе выполняется исследование двух глобальных моделей – EGM96 и EGM2008 с помощью онлайн-калькулятора вычисления высот геоида UNAVCO (см. ссылку в табл. 2.2).

Для выполнения работы необходимо подготовить текстовый файл, в каждой строке которого через запятую указаны: широта B , долгота L (в градусах и долях градуса), высота в метрах. Разделитель десятичных знаков – точка.

4.2. Вычисление ортометрических высот.

Нормальные (в первом приближении – ортометрические) высоты вычисляются с помощью онлайн-калькулятора, где основные настройки показаны на рис. 7.3.

Вставить текст с координатами в окно. После нажатия на клавишу *submit* на странице ниже появится карта с расположением точек и таблица с результатами вычислений высот, где приведены геодезические высоты над эллипсоидом (Ellps Height), высоты геоида над эллипсоидом (Geoid Height) и ортометрические высоты (Ortho Height).

Вычислить ортометрические высоты для двух моделей – EGM2008 и EGM96, результаты занести в табл. 7.12, где во втором столбце привести исходные нормальные высоты (по варианту), далее – вычисленные высоты. Составить разности вычисленных и исходных значений, а также разности значений, вычисленных по разным моделям.

1. Geoid Model egm2008-5 **Выбор модели геоида**

2. Cubic interpolation ☒

Import CSV or copy & paste point data

(1) Upload a comma-separated file with latitude (decimal degrees), longitude (decimal degrees), and elevation (m) column headers.

or

(2) Copy and paste comma-separated latitude (decimal degrees), longitude (decimal degrees), and elevation (m) values without headers.

CSV File: https://static.observableusercontent.com/ Submit Выберите файл Файл не выбран

Coordinates (Latitude, Longitude, Elevation)

```
16.7408514345, -62.2138562081, 82.2349
-31.2084545, -69.6365451, 2419.1
34.4080925890291, -119.371255097653, 162.510695808945
7.93227598779977, -72.5128133627576, 321.150292529708
18.3074397892122, -65.282515096517, -30.3937790609993
```

Вставка текста с координатами

Принять в работу

Submit

Рис. 7.3. Основные настройки онлайн-калькулятора UNAVCO

Таблица 7.12

Результаты вычисления ортометрических высот

Имя точки	H^y , м исходн.	H^y , м EGM-96 (модель 1)	H^y , м EGM-08 (модель 2)	Разности, м		
	1	2	3	(2–1)	(3–1)	(3–2)
...						
Продолжить для всех пунктов варианта						

4.3. Определение и исключение систематического сдвига по высоте.

Вычислить для обеих моделей среднее арифметическое из разностей вычисленных по модели и измеренных нормальных высот (систематическое смещение dh):

$$dh96 = \quad , \quad dh08 = \quad .$$

Исправить вычисленные по моделям нормальные высоты, отняв от каждого значения систематический сдвиг dh . Заполнить табл. 7.13.

Таблица 7.13

Снятие систематического смещения по высоте dh

Имя точки	H^{γ} , м исходн.	$H^{\gamma} - dh$, м EGM-96 (модель 1)	$H^{\gamma} - dh$, м EGM-08 (модель 2)	Разности, м	
	1	2	3	(2–1)	(3–1)
...					
Продолжить для всех пунктов варианта					

Вычислить средние квадратические погрешности получения нормальных высот по формуле

$$\text{СКП} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}},$$

где $i = 1, \dots, n$; n – количество точек; v_i – разности вычисленных и измеренных нормальных высот после исключения систематического сдвига (из табл. 5.2).

Записать значения СКП для двух моделей:

$$\text{СКП}(96) = \quad , \quad \text{СКП}(2008) = \quad .$$

Сделать заключение о точности получения нормальных высот (к какому классу нивелирования можно отнести полученные результаты). Дать рекомендации по использованию моделей ГПЗ в ГНСС-технологиях, а также по повышению точности получения нормальных высот с помощью ГНСС-измерений и моделей квазигеоида.

Контрольные вопросы: см. вопросы к лабораторным работам № 5 и 6 в настоящем практикуме.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии : монография. В 2 т. Т. 1. – М. : Картгеоцентр, 2005. – 334 с.
2. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии : монография. В 2 т. Т.2 – М. : Картгеоцентр, 2006. – 360 с.
3. Гиенко Е. Г. Современные геодезические методы создания государственной координатной основы : сборник описаний практических работ. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 65 с.
4. Гиенко Е. Г. Современные геодезические методы создания государственной координатной основы: учеб.-метод. пособие. – Новосибирск: СГУГиТ, 2024. – 122 с.
5. Гиенко Е. Г., Антонович К. М., Липатников Л. А. Применение глобальных спутниковых навигационных систем в геодезии и навигации : практикум. – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – 101 с.
6. Глобальная система высокоточного определения навигационной и эфемеридно-временной информации (СВО ЭВИ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://glonass-svoevi.ru/> (дата обращения 06.06.2025).
7. ГОСТ 57374-2016. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических работ. Пункты фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС). Введ. 2017–06–01. – М. : Стандартинформ, 2017. – 16 с.
8. ГОСТ 32453–2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек // Межгосударственный стандарт. – Введ. 2018–07–01. – М. : Стандартинформ, 2017. – 24 с.
9. Еремеев В. Ф., Юркина М. Я. Теория высот в гравитационном поле Земли. – М. : Недра, 1971. – 144 с.

10. Исследование современных глобальных моделей гравитационного поля Земли : монография / В. Ф. Канушин, А. П. Карпик, И. Г. Ганагина [и др.]. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 270 с.

11. Об охранных зонах пунктов государственной геодезической сети, государственной нивелирной сети и государственной гравиметрической сети [Электронный ресурс] : постановление Правительства Российской Федерации № 1 080 от 21.08.2019 – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

12. О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон от 30.12.2015 № 431-ФЗ – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

13. Об установлении структуры государственной нивелирной сети и требований к созданию государственной нивелирной сети, включая требования к нивелирным пунктам [Электронный ресурс] : приказ Министерства экономического развития от 29.03.2017 № 137. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

14. Об установлении структуры государственной геодезической сети и требований к созданию государственной геодезической сети, включая требования к геодезическим пунктам [Электронный ресурс] : приказ Росреестра от 19.09.2022 № П/0344 – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

15. Об установлении требований к программным и техническим средствам, используемым при создании сетей дифференциальных геодезических станций [Электронный ресурс] : приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии № П/0322 от 02.09.2020. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

16. Памятка: как выглядят геодезические пункты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosreestr.gov.ru/upload/to/sankt-peterburg/2019/ogk/ПАМЯТКА%20как%20выглядят%20геодезические%20пункты.pdf> (дата обращения: 06.06.2023).

17. Об установлении требований к созданию, эксплуатации, функционированию и развитию федеральной сети геодезических станций [Электронный ресурс] : приказ Федеральной службы государственной реги-

страции, кадастра и картографии от 26.04.2024 № П/0123/24.– Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

18. Сурнин Ю. В., Гиенко Е. Г., Кузьмин В. И. Некоторые результаты определения локального гравитационного поля на поверхности Земли // Вестник СГГА. – Вып. 11. – Новосибирск, 2006. – С. 8–13.

19. Федеральная сеть геодезических станций [Электронный ресурс]. – <https://cgkipd.ru/opendata/apk-fsgs.php> (дата обращения: 06.06.2025).

20. О внесении изменений в Федеральный закон «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон от 04.08.2023 № 491-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

21. Федеральный портал пространственных данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.fppd.cgkipd.ru/main> (дата обращения 06.06.2025).

22. Ходаков П. А., Басманов А. В. Состояние главной высотной основы Российской Федерации с учетом результатов выполненных объемов геометрического нивелирования в 2012–2018 гг. // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80. – №. 5. – С. 12–22.

23. Центр точных эфемерид RGS-CENTRE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rgs.cgkipd.ru/> (дата обращения 06.06.2025).

24. AUSPOS Online GPS Processing Service [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/positioning-australia/geodesy/auspos> (дата обращения: 06.06.2025).

25. International Center for Global Earth Models [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://icgem.gfz-potsdam.de/home> (дата обращения: 06.06.2025).

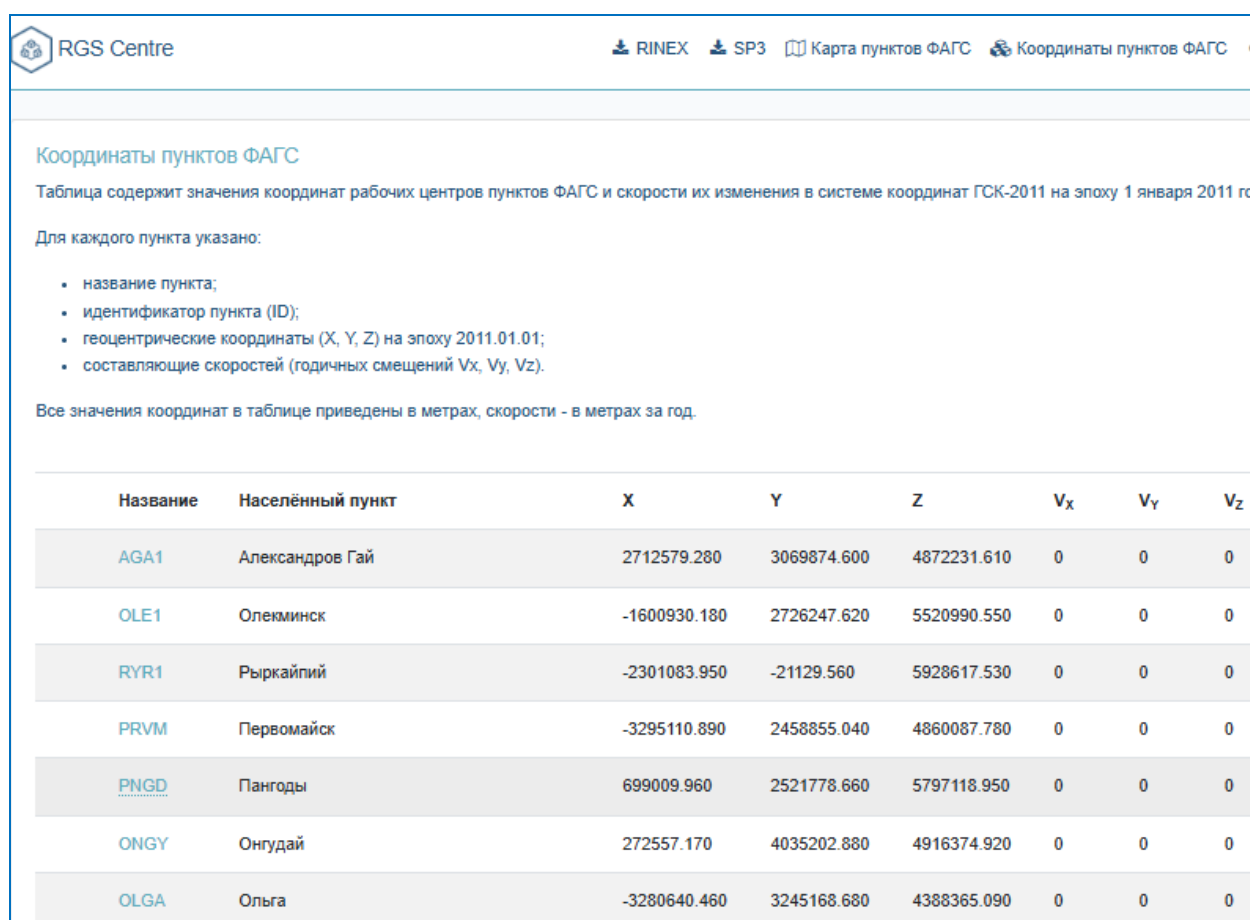
26. International GNSS Service [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://igs.org/> (дата обращения: 06.06.2025).

27. International Terrestrial Reference System (ITRS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://itrf.ign.fr/en/homepage> (дата обращения: 06.06.2025).

ПОРЯДОК ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ПУНКТАХ ФАГС (<https://rgs.cgkipd.ru/>)

1. Информация о ГНСС-измерениях, координатах и скоростях пунктов.

Открыть вкладку «Координаты пунктов ФАГС» (рис. П.1.1.), найти пункт, кликнуть на его название и перейти в карточку пункта (рис. П.1.2.).



The screenshot shows the 'RGS Centre' website interface. The main heading is 'Координаты пунктов ФАГС'. Below it, a note states: 'Таблица содержит значения координат рабочих центров пунктов ФАГС и скорости их изменения в системе координат ГСК-2011 на эпоху 1 января 2011 года.' A list of data provided for each point includes: point name, point ID, geocentric coordinates (X, Y, Z) for epoch 2011.01.01, and velocity components (Vx, Vy, Vz). A note specifies that coordinates are in meters and velocities are in meters per year. The table below lists seven points with their respective data.

Название	Населённый пункт	X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
AGA1	Александров Гай	2712579.280	3069874.600	4872231.610	0	0	0
OLE1	Олекминск	-1600930.180	2726247.620	5520990.550	0	0	0
RYR1	Рыркайпий	-2301083.950	-21129.560	5928617.530	0	0	0
PRVM	Первомайск	-3295110.890	2458855.040	4860087.780	0	0	0
PNGD	Пангоды	699009.960	2521778.660	5797118.950	0	0	0
ONGY	Онудай	272557.170	4035202.880	4916374.920	0	0	0
OLGA	Ольга	-3280640.460	3245168.680	4388365.090	0	0	0

Рис. П.1.1. Координаты пунктов ФАГС

В карточке станции находится информация (см. рис. П.1.2): прямоугольные и геодезические координаты в ГСК-2011 (на эпоху 2011.0) и соответствующие скорости, параметры приемника и антенны, местоположение, дата установки, полнота загруженных файлов.



Название: PNGD

Номер IERS: 25.08.2022

Дата установки: Пангоды, Ямало-Ненецкий автономный округ, Россия

Местоположение: 1226

Файлы: 100%

Средняя полнота файлов:

Прямоугольные координаты XYZ

X: 699009.960 м Vx: 0 м/год

Y: 2521778.660 м Vy: 0 м/год

Z: 5797118.950 м Vz: 0 м/год

Геодезические координаты BLN

B: 65° 50' 59.450" Vb: 0 м/год

L: 74° 30' 25.912" Vl: 0 м/год

H: 34.201 м Vh: 0 м/год

Антенна

Тип: LEIAR20 LEIM

Delta E: 0

Delta H: 0

Delta N: 0

Приёмник

Тип: LEICA GR30

Стандарт частоты: Внешний

Версия ПО: 4.70/7.813

Рис. П.1.2. Карточка пункта ФАГС

2. Получение файлов ГНСС-измерений и навигационных сообщений.

Для скачивания файлов необходима регистрация. Открыть вкладку RINEX (рис. П.1.3).


RGS Centre

 RINEX
 SP3
 Карта пунктов ФАГС
 Координаты пунктов ФАГС
 Вход

RINEX

Фильтр

Тип

Все файлы

O: Файл измерений

D: Natanaka сжатый файл измерений

N: Навигационный файл GPS

G: Навигационный файл GLONASS

L: Навигационный файл GALILEO

F: Навигационный файл BeiDou

Q: Навигационный файл QZSS

M: Файл метеорологических данных

Станции

Все

AGA1

AMDR

ANDR

ANTP

ARKH

AST3

BARE

BELG

BELG

Год от

2024

День от

257

Год до

2024

День до

262

Рис. П.1.3. Выбор файлов для скачивания

79

Параметры настройки скачивания (можно выбирать несколько строк через -Ctrl):

- тип: файлы измерений и навигационных сообщений;
- станции: отметить нужные;
- день от начала года: см. ГНСС-календарь.

«Выбрать» и посмотреть наличие файлов измерений (рис. П.1.4). Должны быть иконки папок (рис. П.1.4.)

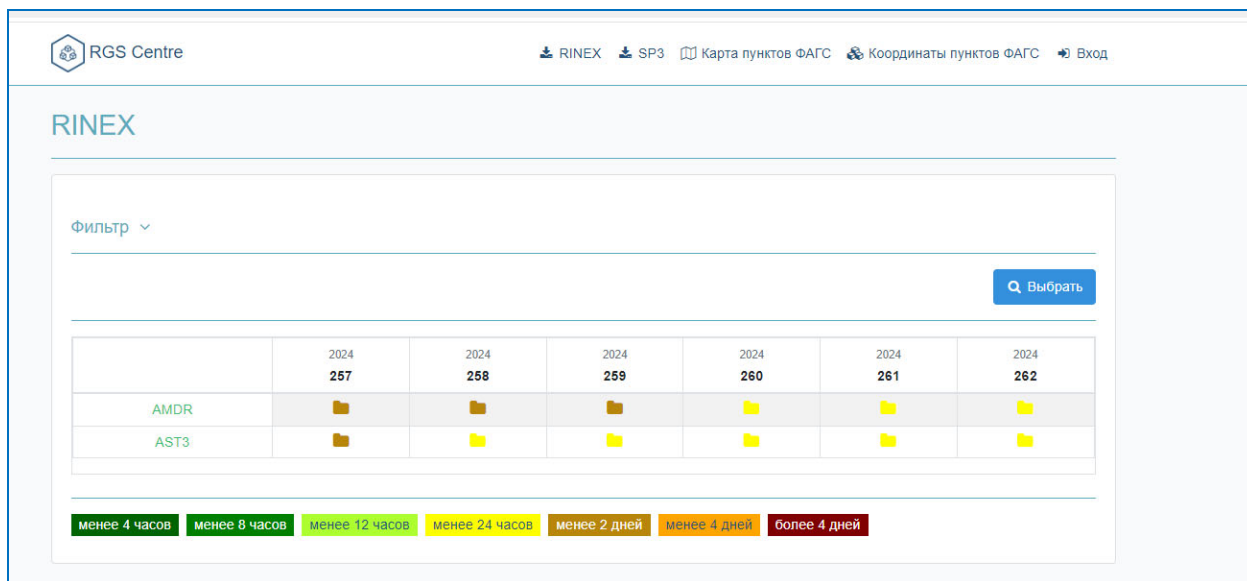


Рис. П.1.4. Наличие файлов ГНСС-измерений

После выбора папки для пункта на заданную дату появится окно с возможностью скачать необходимые файлы (для зарегистрированных пользователей).

ПОРЯДОК ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ПУНКТАХ ДГС

1. Список дифференциальных станций EFT CORS <https://eft-cors.ru/>.

Необходима регистрация. На странице открыть «Базовые станции» – «Список» – появится список станций, из которого выбрать нужную. Для каждой станции возможны действия, показанные на рис. П.2.1.

Главная

Услуги

Базовые станции

Избранные

Список

Карта

RINEX

Личн. сообщения

Настройки

Выход

Карточки БС

Показать 50 записей

ID	Код	Название	Статус работы
1	VOSK	Воскресенск	Работает
5	DLGR	Долгоруково	Работает
483	LPSK	Липецк	Профилактика
7	DNK2	Данков-2	Работает
8	OREL	Орел	Работает
10	OREN	Оренбург	Работает
11	CHRP	Череповец	Не работает
13	RUZA	Руза	Работает

Действия

Скачать файл

Избранное

Показать на карте

Рис. П.2.1. Список станций EFT CORS

2. Описание станции и координаты.

Если кликнуть на название станции, откроется карточка пункта (рис. П.2.2), где можно найти информацию о станции (основная информация) и ее координатах (координаты и параметры).

Внимание! При записи координат станции надо обязательно указывать систему координат и эпоху, к которой относятся значения координат. Так, для станций EFT CORS система ITRF2014, а эпоха – 2010.0 (см. рис. П.2.2).

Основная информация	
Название:	Воскресенск
Код [ID]:	VOSK [1]
Федеральный округ:	Центральный
Субъект [номер региона]:	Москва и Московск
Спутниковые группировки:	ГЛОНАСС / GPS / Ве
Тип приемника:	EFT RS2
Тип антенны:	EFT A2
Маска возвышения:	10

Пространственные координаты	
WGS-84	ITRF2014 (2010.0)
Широта:	55° 19' 17.98473" N
Долгота:	38° 39' 38.71250" E
Высота (эллипсоидальная):	154.794
X:	2840209.3181
Y:	2272244.2984
Z:	5221967.8840

Рис. П.2.2. Карточка станции EFT CORS

3. Скачивание RINEX-файлов для постобработки (рис. П.2.3.).

Выбирается станция, задается дата. Для суточных файлов рекомендуется ограничивать время ГНСС-измерений с 01:00 по 23:00, часовой пояс – время по Гринвичу, частота записи для суточного файла – 30 с. Версию RINEX выбирать 3.02 только в том случае, если ПО обработки ГНСС-измерений поддерживает этот формат.

Базовая станция: Долгоруково [DLGR] ☐ Только избранные

Начало измерений: 02/06/2025 01:00

Окончание измерений: 02/06/2025 23:00

Часовой пояс: Время по Гринвичу UTC+0

Версия Rinx: ☒ 2.11 ☐ 3.02

Частота измерений: 30 сек. (1 сек. и 5 сек. доступны с подпиской RINEX+)

Дополнительно: ☐ Архивировать

☒ Отправить на email ☐ Подождать ссылку

Рис. П.2.3. Скачивание файлов ГНСС-измерений

КОНВЕРТИРОВАНИЕ ФАЙЛОВ ГНСС-ИЗМЕРЕНИЙ ИЗ RINEX3 В RINEX2

1. Запуск утилиты rtkconv.

Открыть папку RTKLIB_bin-trklib_2.4.3 – открыть папку bin – запустить программу rtkconv (рис. П.3.1).

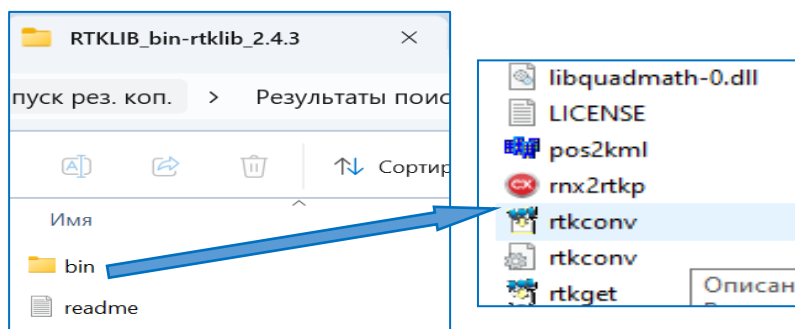


Рис. П.3.1. Запуск утилиты rtkconv

2. Выбор файла ГНСС-измерений для конвертации (рис. П.3.2). Выходные файлы будут по умолчанию в папке, где исходный файл.

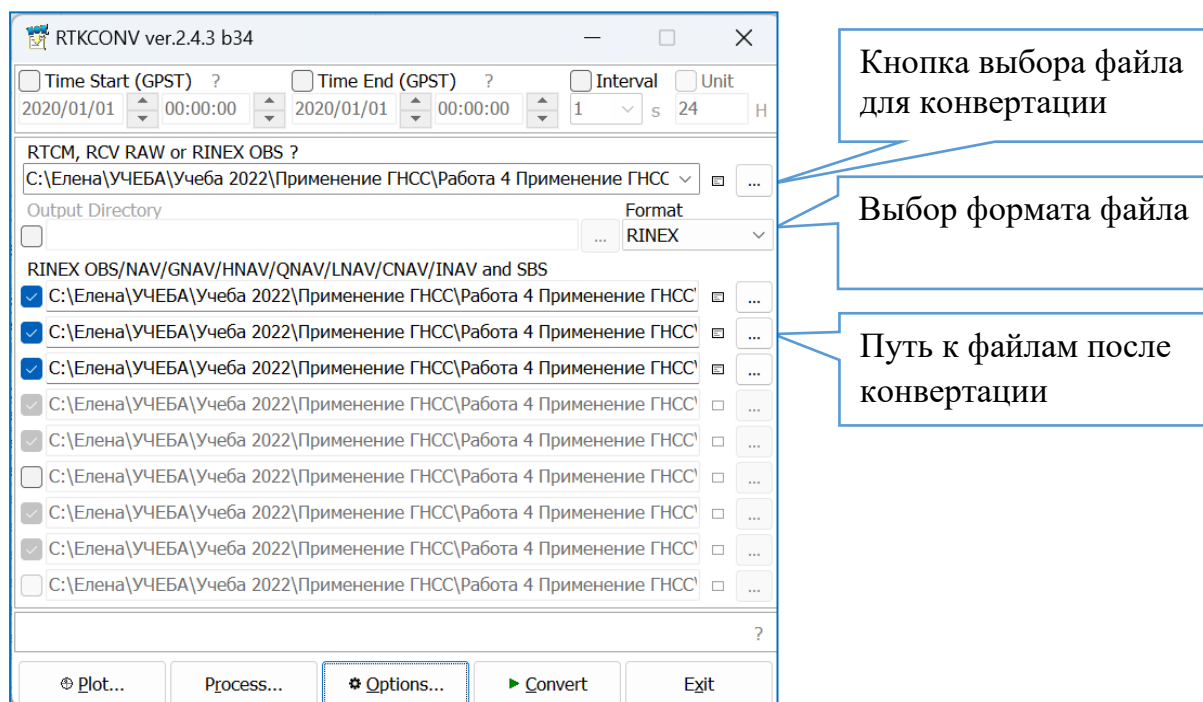


Рис. П.3.2. Выбор файла ГНСС-измерений

3. Настройки конвертации – кнопка «Options» на нижней панели. Меню настроек показано на рис. П.3.3.

The 'Options' dialog box contains the following fields and controls:

- RINEX Ver:** A dropdown menu set to '2.12'.
- Sep NAV:** An unchecked checkbox.
- Station ID:** A text field containing 'NSK1'.
- RINEX2 Name:** An unchecked checkbox.
- RunBy/Obsrv/Agency:** Three empty text fields.
- Comment:** A single-line text field.
- Maker Name/#/Type:** Three empty text fields.
- Rec #/Type/Vers:** Three empty text fields.
- Ant #/Type:** Two empty text fields.
- Approx Pos XYZ:** A checked checkbox followed by three text fields containing '471943.8414', '3639151.8553', and '5199357.1243'.
- Antenna Delta H/E/N:** Three text fields containing '0.167', '0.0000', and '0.0000'.
- Correction options:** A row of unchecked checkboxes for 'Phase Shift', 'Half Cyc Corr', 'Iono Corr', 'Time Corr', and 'Leap Sec'.
- Satellite Systems:** A row of checked checkboxes for 'GPS', 'GLO', 'GAL', 'QZS', 'BDS', 'NavIC', and 'SBS'.
- Excluded Satellites:** An empty text field.
- Observation Types:** A row of checked checkboxes for 'C', 'L', 'D', and 'S'.
- GNSS Signals ?:** A row of checkboxes for 'L1' (checked), 'L2' (checked), 'L3' (checked), 'L4' (unchecked), and 'L5' (unchecked).
- Mask... FCN...:** Two buttons.
- Receiver Options:** A single-line text field.
- Time Tolerance (s):** A text field containing '0.005'.
- Debug:** A dropdown menu set to 'OFF'.
- Buttons:** 'OK' and 'Cancel' buttons.

Рис. П.3.3. Настройки конвертации файла

Настройки:

- версия RINEX ver: вторая;
- идентификатор станции Station ID: 4-символьное название ВАШЕГО пункта ФАГС;
- Approx Pos XYZ, приближенные координаты XYZ: координаты ВАШЕГО пункта, которые вы выписали с сайта RGS-Center (не из RINEX-файла!);
- параметры антенны Antenna Delta H/E/N: задать высоту антенны H, м. Остальные настройки можно оставить по умолчанию.

4. Запустить конвертацию файла – Convert. Найти в папке сконвертированный файл, открыть в текстовом редакторе, убедиться, что это версия RINEX.

ОСНОВНЫЕ НАСТРОЙКИ ПРОЕКТА В ПО TRIMBLE BUSINESS CENTER

Проект – настройки проекта:

- 1) Система координат – выбрать по умолчанию (WGS-84)
(минимально ограниченное уравнивание)
или изменить...
(ограниченное уравнивание);

- 2) Единицы – настройка единиц измерения:

GPS Время – местное время;

разница с гринвичским временем (временная поправка)

Координаты – метры;

Расстояние – метры;

- 3) Настройки вычислений –

GNSS-вектор: допустимая ошибка в плане – 0,05 м, по высоте – 0,08 м;

- 4) Обработка базовых линий – стандартные настройки:

Общее: модель антенны – определять автоматически;

тип эфемерид – точные/бортовые/автоматически;

Обработка: тип решения – фиксированное;

частота – по нескольким частотам;

вычислять невязки – да;

Качество: критерии допустимости – использовать;

дополнительные критерии допустимости;

Спутники: маска по высоте (возвышения) – 15°;

использовать все спутники;

- 5) Уравнивание сетей – стандартные настройки:

Общее: максимальное количество итераций – 10;

Вывод ковариации: точность как отношение;

Проект: изменить систему координат (при необходимости);

- 3) СКО по умолчанию:

GNSS: СКО по умолчанию – задать паспортную точность прибора.

Ошибка установки по умолчанию –

ошибка измерения высоты антенны – указать;

ошибка центрирования – указать.

Вывод доверительной вероятности – 95 %.

ПОРЯДОК РАБОТЫ С УТИЛИТОЙ COORDINATE SYSTEM MANAGER В ПО TRIMBLE BUSINESS CENTER

Coordinate System Manager – отдельная утилита, обеспечивающая доступ к базе данных систем координат в ПО Trimble Business Center.

Подключение модели геоида.

Подключение модели геоида из базы данных.

1. Вызвать утилиту *Coordinate System Manager*.
2. Вкладка *Модели геоида* – выбор модели геоида из базы данных ПО.

Загрузка новой модели геоида в базу данных.

1. Файл с расширением *.ggf, содержащий новую модель геоида, поместить в папку, содержащую другие модели геоида с таким же расширением (ПОИСК на компьютере).
2. Вызвать утилиту *Coordinate System Manager*.
3. Главное меню – *Правка* – *Добавить модель геоида* – дать название и выбрать файл с новой моделью геоида из списка.
4. *Сохранить изменения* в current.csd.

Добавление новой системы координат.

1. Главное меню – *Правка* – *Добавить эллипсоид* – ввести параметры нового эллипсоида, если это необходимо. Эллипсоид Красовского уже есть в базе данных под именем *Krasovsky 1940*.
2. Главное меню – *Правка* – *Добавить группу систем координат*: дать имя группе СК.
3. *Правка* – *Добавить преобразование И.Г.Д.* (исходных геодезических дат) – *7 параметров* – *Создать новую группу переводов систем отсчета*. Указать имя группы СК, выбрать эллипсоид, направление перевода систем координат (в или из *WGS-84*), задать *7 параметров*.
4. *Правка* – *Добавить систему координат* – задать параметры проекции. Для СК-42 – *поперечная проекция Меркатора* – параметры проекции *Гаусса – Крюгера*.
5. Сохранить изменения в Current.csd.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ № 5 И 6

Name	<i>B</i>	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>H'</i> измер.
Вариант 1 – Колыванский район				
"1"	55°26'00,616"C	82°40'46,700"B	100,740	135,922
"2"	55°22'49,336"C	82°14'08,731"B	133,291	168,130
"3"	55°19'32,228"C	82°06'48,452"B	135,657	170,470
"5"	55°36'25,558"C	83°17'36,442"B	73,862	109,290
"6"	55°19'08,551"C	82°20'12,860"B	114,246	149,201
"7"	55°30'37,814"C	82°45'20,198"B	111,959	147,091
"8"	55°26'43,099"C	82°30'30,746"B	124,149	159,064
"9"	55°25'17,268"C	82°22'56,724"B	125,212	160,087
"10"	55°37'49,642"C	83°03'20,023"B	115,324	150,506
Вариант 2 – Коченевский район				
"11"	55°05'48,944"C	81°34'21,487"B	122,743	157,446
"12"	54°45'21,586"C	82°10'54,355"B	161,681	197,614
"13"	55°14'33,004"C	81°45'20,857"B	133,576	168,175
"14"	55°10'40,169"C	81°34'50,890"B	130,801	165,406
"15"	55°03'39,181"C	81°48'29,885"B	127,633	162,502
"16"	54°46'43,953"C	82°00'57,267"B	140,401	176,149
"17"	54°53'59,716"C	82°01'45,710"B	144,009	179,445
"18"	55°07'09,296"C	82°10'40,923"B	136,913	171,948
"19"	54°59'11,179"C	81°55'25,748"B	140,175	175,333
"20"	55°16'46,588"C	81°56'41,979"B	135,354	170,033
"21"	54°53'00,251"C	82°12'45,266"B	142,398	177,967
Вариант 3 – Новосибирский район				
"22"	54°55'30,097"C	82°33'55,514"B	113,917	149,632
"23"	54°41'03,714"C	82°35'13,224"B	95,062	131,280
"24"	54°36'07,043"C	82°46'41,271"B	123,899	160,475
"26"	55°09'25,879"C	82°45'45,508"B	66,558	102,180
"27"	54°53'29,383"C	83°08'35,717"B	161,131	197,100
"28"	54°55'52,427"C	82°50'49,175"B	103,381	139,238
"29"	55°05'22,000"C	83°17'51,922"B	212,037	247,641
"31"	54°57'26,517"C	83°18'31,836"B	153,690	189,571
"32"	55°08'35,504"C	82°23'05,481"B	102,082	137,310
"33"	54°56'01,269"C	82°59'20,901"B	77,163	113,011
"34"	55°03'29,432"C	83°20'11,362"B	194,891	230,609
"35"	54°35'45,176"C	83°01'49,301"B	194,296	230,948
"36"	54°52'05,188"C	82°49'31,934"B	132,972	168,933
"37"	54°57'28,592"C	83°29'26,159"B	280,048	315,870
"38"	55°01'02,735"C	82°31'22,052"B	84,477	120,039
"39"	55°08'47,118"C	82°54'01,412"B	89,907	125,496
"40"	54°41'26,882"C	83°08'36,927"B	168,356	204,798
"42"	54°41'31,158"C	82°28'03,531"B	132,187	168,319
"43"	54°48'58,540"C	82°36'17,097"B	120,516	156,431

Вариант 4 – Мошковский район				
"45"	55°38'14,388"C	83°50'37,527"B	178,541	214,010
"46"	55°21'27,615"C	83°36'16,679"B	174,147	209,710
"47"	55°20'12,570"C	83°46'53,735"B	182,081	217,719
"48"	54°58'41,772"C	83°43'51,295"B	258,819	294,589
"49"	55°22'56,816"C	83°22'22,276"B	126,502	162,025
"50"	55°05'57,712"C	84°06'05,871"B	244,948	280,769
"51"	55°16'20,358"C	83°15'40,335"B	183,388	218,887
"52"	55°10'45,404"C	83°27'14,142"B	186,438	222,064
"53"	55°26'20,153"C	83°59'20,822"B	179,495	214,988
"54"	55°18'30,553"C	83°56'50,679"B	201,936	237,539
Вариант 5 – Искитимский район				
"55"	54°30'40,279"C	83°01'44,330"B	220,408	257,353
"56"	54°33'24,394"C	83°42'27,628"B	262,382	299,252
"57"	54°45'08,821"C	83°36'58,463"B	256,216	292,570
"58"	54°35'32,263"C	83°12'48,137"B	162,396	199,090
"59"	54°37'40,568"C	83°48'19,665"B	188,112	224,838
"60"	54°17'23,048"C	82°57'19,958"B	262,174	299,629
"61"	54°40'44,476"C	83°41'37,382"B	209,549	246,168
"62"	54°24'22,879"C	82°41'31,115"B	210,587	247,589
"63"	54°33'22,122"C	83°23'37,502"B	191,268	228,236
Вариант 6 – Черепановский район				
"64"	54°05'47,268"C	83°38'31,945"B	205,488	243,668
"65"	54°16'25,196"C	83°08'30,969"B	261,094	298,785
"66"	54°08'31,783"C	83°19'33,649"B	241,530	279,515
"67"	54°24'42,273"C	83°14'18,878"B	202,435	239,753
"68"	54°18'45,884"C	83°17'20,406"B	262,984	300,498
"69"	54°06'43,810"C	83°09'59,316"B	246,983	284,851
"70"	54°07'39,696"C	82°54'54,455"B	236,522	274,342
"71"	54°17'02,244"C	83°28'05,235"B	266,943	304,434
"72"	54°01'03,475"C	83°28'02,823"B	175,216	213,511
"73"	54°17'23,048"C	82°57'19,958"B	262,218	299,599
"74"	54°20'13,053"C	83°41'16,435"B	289,717	327,125
"75"	54°11'38,283"C	83°01'54,034"B	223,505	261,340
"76"	54°13'29,639"C	83°17'51,447"B	261,789	299,427
Вариант 7 – Маслянинский район				
"78"	54°09'21,559"C	84°24'39,059"B	270,587	308,934
"79"	54°16'15,011"C	84°01'44,749"B	297,657	335,413
"80"	54°28'45,204"C	83°52'17,895"B	264,854	301,934
"81"	54°05'12,390"C	83°55'45,776"B	258,197	296,552
"82"	54°27'07,500"C	84°13'12,150"B	304,926	342,264
"83"	54°09'15,967"C	84°12'24,200"B	242,578	280,845
"84"	54°07'56,539"C	84°03'47,513"B	265,751	304,018
"85"	54°23'51,744"C	84°00'24,468"B	258,413	295,823
"86"	54°15'36,032"C	83°52'32,833"B	300,177	337,889

Вариант 8 – Сузунский район				
"87"	53°54'27,949"C	81°59'39,744"B	190,308	228,754
"88"	53°59'41,261"C	82°07'06,360"B	232,145	270,357
"89"	54°10'44,595"C	82°22'26,479"B	214,326	251,760
"91"	54°06'13,260"C	82°11'48,685"B	248,313	286,065
"92"	54°00'01,804"C	81°59'42,169"B	244,327	282,476
"93"	53°45'13,916"C	81°59'24,596"B	107,469	146,287
"94"	53°36'20,697"C	82°21'14,179"B	128,016	166,913
"95"	54°09'53,199"C	82°37'23,250"B	264,864	302,486
"96"	54°05'04,312"C	82°31'10,447"B	236,298	274,210
"97"	54°04'26,673"C	82°47'07,881"B	199,396	237,435
Вариант 9 – Ордынский район				
"98"	54°16'02,393"C	81°28'04,769"B	177,732	215,100
"99"	54°25'41,762"C	81°48'14,608"B	165,757	202,548
"100"	54°32'06,010"C	82°14'25,864"B	129,061	165,625
"101"	54°22'18,248"C	81°12'21,665"B	178,362	215,163
"102"	54°37'15,049"C	81°30'57,441"B	158,466	194,520
"103"	54°39'20,495"C	82°18'52,719"B	143,273	179,544
"104"	54°35'54,353"C	81°57'32,884"B	178,777	215,092
"105"	54°21'48,993"C	82°22'07,256"B	168,402	205,368
"107"	54°19'59,257"C	81°38'26,152"B	150,044	187,148
"108"	54°47'07,329"C	81°52'06,556"B	157,424	193,197
"109"	54°17'12,186"C	82°14'36,609"B	204,753	241,870
Вариант 10 – Кочковский район				
"110"	54°41'01,317"C	80°29'26,625"B	111,662	147,568
"111"	54°35'26,450"C	80°55'38,482"B	154,001	189,920
"112"	54°39'18,049"C	80°18'05,658"B	113,264	149,338
"113"	54°04'51,441"C	80°37'21,143"B	190,793	228,929
"114"	54°06'40,602"C	80°04'50,777"B	122,087	160,079
"115"	54°24'40,632"C	80°39'54,479"B	139,926	176,525
"116"	54°21'19,186"C	81°02'29,318"B	165,599	202,333
"117"	54°21'53,401"C	80°24'39,026"B	141,896	178,752
"118"	54°18'29,242"C	80°14'23,296"B	138,127	175,267
"119"	54°31'14,007"C	80°40'11,130"B	137,570	173,769
"120"	54°12'05,124"C	80°20'56,268"B	129,961	167,584
"121"	54°18'04,912"C	80°40'35,628"B	135,465	172,499
Вариант 11 – Чулымский район				
"122"	55°08'51,364"C	80°35'45,370"B	112,551	147,730
"123"	54°54'35,277"C	80°49'00,217"B	116,383	151,587
"125"	54°49'20,403"C	81°13'01,207"B	125,793	161,202
"126"	55°03'05,076"C	80°54'27,749"B	116,989	152,038
"127"	55°03'56,530"C	80°40'56,357"B	106,026	141,137
"128"	54°48'30,887"C	81°30'01,462"B	151,819	187,390
"129"	55°10'03,056"C	80°58'24,391"B	106,322	141,251
"130"	55°25'47,350"C	80°34'30,015"B	102,263	137,302
"131"	54°45'37,937"C	80°34'35,950"B	112,627	148,288
"132"	55°08'14,963"C	81°24'22,129"B	127,374	162,108
"133"	54°52'28,261"C	80°16'57,411"B	95,206	130,842

Вариант 12 – Каргатский район				
"134"	54°49'21,675"C	80°10'09,639"B	99,886	135,820
"135"	55°14'21,010"C	80°33'37,587"B	100,989	136,333
"136"	55°13'48,477"C	79°44'46,784"B	114,520	150,030
"137"	55°31'31,977"C	79°53'04,680"B	101,754	136,531
"138"	55°12'45,504"C	80°22'17,538"B	98,721	134,016
"139"	55°21'18,589"C	80°04'43,289"B	105,878	140,921
"140"	55°31'14,730"C	80°27'14,701"B	103,453	138,369
"141"	55°08'12,549"C	80°06'31,191"B	96,262	131,701
"142"	55°26'15,763"C	80°24'01,104"B	110,908	145,101
"143"	55°06'31,621"C	80°20'19,706"B	111,306	146,710
"144"	55°15'28,936"C	80°00'21,010"B	111,161	146,420
Вариант 13 – Убинский район				
"146"	55°22'27,270"C	79°06'38,233"B	101,515	136,366
"147"	55°20'02,033"C	79°53'13,383"B	107,208	142,307
"148"	55°23'52,779"C	79°45'26,914"B	103,318	138,380
"149"	55°37'56,382"C	79°05'28,642"B	93,641	127,925
"151"	55°35'04,374"C	79°31'58,167"B	101,259	135,906
"152"	55°17'22,133"C	79°14'37,873"B	109,987	145,064
"153"	55°29'02,168"C	79°30'20,853"B	100,187	135,037
"154"	55°23'56,031"C	79°31'52,180"B	102,008	137,054
"155"	55°38'32,927"C	79°40'00,993"B	98,845	133,344
"156"	55°11'37,989"C	79°33'30,915"B	108,723	144,179
"157"	55°02'41,473"C	79°46'57,358"B	92,696	128,325
Вариант 14 – Барабинский район				
"158"	55°29'56,669"C	78°24'24,993"B	92,790	127,026
"159"	55°12'18,551"C	78°37'42,873"B	94,232	129,038
"160"	55°10'33,432"C	78°29'25,282"B	90,519	125,279
"161"	55°02'28,445"C	78°15'58,621"B	86,140	120,107
"162"	55°14'57,357"C	78°01'01,084"B	87,084	121,198
"163"	55°13'10,886"C	79°00'41,831"B	97,349	132,422
"164"	55°42'14,856"C	78°03'48,064"B	88,950	122,554
"166"	55°33'18,977"C	78°48'28,624"B	90,378	124,835
"167"	55°30'47,840"C	77°59'52,217"B	84,772	118,533
"168"	55°46'10,216"C	78°21'51,155"B	93,824	127,559
"169"	55°20'27,506"C	77°36'39,617"B	76,705	110,450
Вариант 15 – Здвинский район				
"170"	54°54'22,610"C	79°04'11,409"B	87,674	123,307
"171"	54°46'47,715"C	78°31'13,641"B	84,928	120,637
"172"	54°32'56,551"C	78°37'34,842"B	84,915	121,340
"173"	54°19'32,249"C	78°01'50,439"B	78,609	115,226
"174"	54°42'53,864"C	78°13'13,970"B	82,192	117,914
"175"	54°22'57,057"C	78°53'19,390"B	82,964	119,963
"176"	54°25'02,106"C	78°42'56,682"B	83,256	120,151
"177"	54°54'36,240"C	78°49'07,565"B	82,927	118,519
"178"	54°48'20,390"C	78°57'11,308"B	81,214	117,021
"179"	54°54'55,804"C	78°14'34,034"B	77,546	112,695
"180"	54°34'03,909"C	78°18'32,535"B	75,290	111,483
"181"	55°02'09,005"C	78°42'45,189"B	78,036	113,242

Вариант 16 – Доволенский район				
"182"	54°21'09,707"C	79°10'43,417"B	89,538	126,551
"183"	54°32'19,355"C	79°35'56,231"B	106,516	143,292
"184"	54°30'28,943"C	79°31'00,868"B	100,302	137,152
"185"	54°14'08,372"C	80°01'27,084"B	137,763	175,166
"186"	54°46'03,461"C	79°58'19,419"B	92,037	128,125
"187"	54°36'07,334"C	78°56'21,022"B	81,371	117,728
"189"	54°23'10,095"C	79°46'52,360"B	112,301	149,380
"190"	54°07'28,010"C	79°19'36,028"B	102,077	139,723
"191"	54°27'06,033"C	79°27'43,756"B	97,283	134,156
"192"	54°08'45,945"C	79°42'55,215"B	136,171	173,857
"193"	54°48'14,190"C	79°46'00,237"B	89,439	125,516
Вариант 17 – Красноозерский район				
"194"	54°06'42,621"C	79°09'11,523"B	99,279	136,843
"195"	54°00'10,643"C	79°18'22,807"B	122,657	160,651
"196"	54°12'46,562"C	78°41'46,999"B	81,429	118,903
"197"	53°51'12,849"C	78°46'41,930"B	91,634	129,549
"198"	53°47'49,025"C	79°15'15,874"B	130,129	168,513
"199"	53°58'01,976"C	78°52'41,375"B	93,113	130,861
"200"	54°14'45,506"C	79°40'30,833"B	120,240	157,708
"201"	53°43'09,677"C	78°49'32,339"B	98,832	136,888
"202"	53°53'47,583"C	79°38'33,245"B	143,288	181,970
"203"	53°56'01,628"C	79°47'07,275"B	143,198	181,931
"204"	53°36'50,042"C	79°32'47,050"B	100,793	139,824
"205"	54°11'15,486"C	78°53'26,213"B	81,579	119,033
Вариант 18 – Болотнинский район				
"206"	55°43'51,521"C	84°05'22,522"B	165,706	201,076
"207"	55°48'51,793"C	84°20'55,233"B	186,393	221,951
"209"	55°36'28,085"C	84°07'12,801"B	187,871	223,297
"210"	55°40'59,792"C	83°56'54,001"B	171,142	206,479
"211"	55°44'47,585"C	84°26'57,828"B	169,163	204,683
"212"	55°28'04,264"C	84°24'58,103"B	226,106	261,604
"213"	55°37'33,810"C	84°15'51,043"B	190,269	225,771

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ ПУНКТОВ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ

Таблица П.7.1

Каталог координат пунктов ГГС и ГНС:
система координат – условная СК-42,
система высот – условная БСВ-77

Название, тип, класс	x , м y , м	H' , м	φ , λ о' "	a^* о' " на пункт
Алексеевка, п. тр. 1-го кл., IV кл., Лапласа 1-го кл.	6 090 052,15 14 600 399,81	149,637	54 55 27,50 82 33 58,98	334 39 02,93 На п. тр. Кремлевка
Кремлевка п. тр. 1-го кл., IV кл., Лапласа 1-го кл.	6 114 093,21 14 588 343,44	137,28	55 08 32,90 82 23 12,86	154 30 11,22 На п. тр. Алексеевка

Таблица П.7.2

Координаты пунктов
из уравнивания спутниковой геодезической сети.
Система координат WGS-84

Пункт	B , о' "	L , о' "	H , м	A , о' ", на пункт	Z , о' ", на пункт
Alex	54 55 30,098347	82 33 55,492405	113,537	334 38 58,214 На п. Krem	90 08 45,27 На п. Krem
Krem	55 08 35,507556	82 23 05,460379	101,721	154 30 05,517 На п. Alex	90 05 44,01 На п. Alex

Учебное издание

Гиенко Елена Геннадьевна

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ КООРДИНАТНОЙ ОСНОВЫ

Редактор *О. В. Георгиевская*

Компьютерная верстка *Я. А. Лесных*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 10.09.2025. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 5,40. Тираж 80 экз. Заказ 107.

Гигиеническое заключение

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

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ

630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ

630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 8