

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

«Воронежский государственный технический университет»
Кафедра кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии

ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ГРАВИМЕТРИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
Для выполнения курсовой работы
по дисциплине «Геодезическая гравиметрия»
для студентов направления 21.03.03
«Геодезия и дистанционное зондирование»
(профиль: Геодезия)
всех форм обучения

Воронеж 2022

УДК 528.2
ББК 26.21я7

Составитель: В.В. Шумейко; Н.В. Невинская.

Геодезическая гравиметрия: метод. Указания для выполнения лабораторных работ / сост.: В.В. Шумейко; Н.В. Невинская.

Методические указания предусмотрены для выполнения курсовой работы по дисциплине «Геодезическая гравиметрия» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование». /ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. В.В.Шумейко, Н.В. Невинская Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. 33 с.

Основная цель указаний состоит в рассмотреть основные понятия геодезической гравиметрии и даны краткие сведения различных разделов геодезической гравиметрии. Даны основные задачи, которые решает современная геодезическая гравиметрия и рассмотрены методы их решения.

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

УДК 528.2
ББК 26.21я7

Рецензент – доцент кафедры «Кадастр недвижимости, землеустройство и геодезия» к. г. н. Самбулов Н.И.

Издается по решению редакционно-издательского совета ВГТУ

Введение

По направлению 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» учебным планом предусматривается изучение дисциплины «Геодезическая гравиметрия».

Цель дисциплины «Геодезическая гравиметрия» - освоение основных положений гравиметрического метода определения физической поверхности и гравитационного поля Земли, а так же формирование практических навыков решения геодезических задач методами гравиметрии.

В ходе учебного процесса студент должен прослушать курс лекций по данной дисциплине, выполнить практические работы, выполнить курсовую работу и сдать экзамен.

Настоящие методические указания предусмотрены для выполнения курсовой работы по геодезической гравиметрии с использованием базовых данных и электронных справочников.

Выполнение курсовой работы направлено на решение следующих задач: изучение методики проведения гравиметрических измерений на местности; освоение приемов первичной обработки гравиметрических измерений; их последующей обработки, оценки точности.

Знания, полученные при изучении дисциплины «Геодезическая гравиметрия» необходимы в дальнейшем, для изучения других дисциплин и применения гравиметрических данных в прикладной геодезии.

Задание на курсовую работу по дисциплине “Геодезическая гравиметрия”

- 1. Тема:** «Проектирование и обработка результатов гравиметрического рейса»
- 2. Цель работы:** Освоение приемов первичной обработки гравиметрических измерений.
- 3. Содержание курсовой работы:** Вычислить абсолютное значение ускорения силы тяжести на пунктах гравиметрической сети по результатам измерений, полученным по одной из методик, указанных в задании.
- 4. Исходные данные:** Выписать исходные данные из ведомости обработки гравиметрических измерений согласно своему варианту: номера съёмочных точек, средние моменты времени снятия отчетов по шкале микрометра в долях часа и средние отсчеты в оборотах микрометра.
- 5. Содержание курсовой работы**
В курсовую работу должны входить следующие разделы:
 - 1. Пояснительная записка.** В пояснительной записке должны быть изложены основные сведения из теории обработки гравиметрических измерений, а так же последовательность вычисления значений ускорения силы тяжести на пунктах гравиметрической сети по результатам измерений.
 - 2. Расчетная часть.** По исходным данным следует выполнить все необходимые расчеты в нижеуказанной последовательности.

1. Общие теоретические сведения

Измерения силы тяжести и вторых производных ее потенциала

Изучите методы измерения силы тяжести: баллистический и статический, современную роль каждого метода. При изучении абсолютных измерений силы тяжести обратите внимание на схемы баллистического метода, конструкцию баллистического гравиметра, источники ошибок. Надо представлять себе роль современных абсолютных измерений в мировой гравиметрической съемке: они задают и контролируют масштаб гравиметрической сети, а регулярные повторные измерения позволяют получать изменения силы тяжести во времени.

Основное внимание уделите статическому методу измерений: теории и устройству астазированных гравиметров, получивших наибольшее распространение, их исследованиям, а также основным источникам ошибок (смещению нуля-пункта, влиянию внешних условий, ошибкам постоянных гравиметра), устройству автоматизированных гравиметров.

Ознакомьтесь с видами и назначением гравиметрических съемок, их топографо-геодезическим обеспечением, методикой полевых измерений с гравиметрами.

Гравиметрическую съемку разделяют на опорную сеть и на рядовую съемку. Мировая опорная гравиметрическая сеть 1971 года образована и уравнена на основании абсолютных измерений в 8 пунктах и многочисленных (около 25 тыс.) маятниковых и гравиметровых связей. В России и в других странах созданы опорные сети разных классов и местные сети, опирающиеся на пункты абсолютных измерений. Существуют межгосударственные гравиметрические сети.

При измерениях на море главными источниками ошибок являются: неравномерное движение основания из-за волнения моря, наклоны и дополнительные ускорения — эффект Этвёша, — зависящий от скорости и азимута движения судна. Влияние вертикальных возмущающих ускорений в морском гравиметре устраняют частотной фильтрацией его показаний, а влияние горизонтальных ускорений и наклон — установкой прибора на гиросtabilизированном основании. Для учета эффекта Этвёша необходимо весьма точное для морских условий определение траектории движения судна.

В разделе об измерении вторых производных потенциала силы тяжести основное внимание уделите связи положения крутильных весов с величинами вторых производных, составу измерений для вычисления горизонтальных градиентов силы тяжести и кривизны уровенной поверхности, а также влиянию рельефа.

Вторую вертикальную производную потенциала силы тяжести (вертикальный градиент) находят косвенно по её измерениям с гравиметром на разной высоте.

Аномалии силы тяжести.

Различают несколько видов аномалий силы тяжести. Разность реальной (измеренной) силы тяжести g и нормальной силы тяжести γ в пункте наблюдений называется *чистой аномалией в свободном воздухе*.

До недавнего времени чаще всего были известны не геодезические, а нормальные высоты пунктов, нормальную силу тяжести было возможно вычислить не в самом пункте наблюдений, а на гипсометрической поверхности в точке, соответствующей нормальной высоте пункта. Вычисленные таким образом аномалии называют *смешанными аномалиями в свободном воздухе*.

Аномалии в свободном воздухе зависят не только от притяжения внутренних аномальных масс Земли, но и от притяжения относительно небольших, но более близких к пункту топографических масс. Аномалии в свободном воздухе коррелируют с высотами рельефа. По этой причине для изучения строения Земли, включая поиски полезных ископаемых, пользуются различными *топографическими аномалиями*, при вычислении которых в величину g вводят *топографические поправки (редукции)*.

Вычислив притяжение всех топографических масс, находят аномалии силы тяжести *в полной топографической редукции*. Вычислив притяжение топографических масс только в ограниченной области, находят аномалию *в неполной топографической редукции*. Принимая топографические массы бесконечным плоским горизонтальным слоем, толщина которого равна высоте пункта (*промежуточный слой* или *пластина Буге*), получают *аномалию Буге*. В геодезической гравиметрии аномалии Буге используют для косвенной интерполяции аномалий в свободном воздухе.

Топографические редукции вводят в значение силы тяжести g со знаком «минус». В холмистой и в горной местности вводят поправку за рельеф, учитывающую отступление поверхности Земли от плоскости, проходящей через пункт наблюдений. Эта поправка всегда положительна. Если вводят только поправку за рельеф, то получают *аномалию Фая*.

Ознакомьтесь с вычислением аномалий при измерениях на море и в воздухе. По результатам гравиметрических съемок пополняют базы данных и строят гравиметрические карты с сечением изоаномал от 20—40 мГал (мировая съемка) до 2—5 мкГал (микروгравиметрическая съемка). Сечение гравиметрических карт зависит от плотности съемки, а также от ошибок измерений. Погрешность карты должна быть в 1,5—2 раза меньше сечения.

Гравитационная съемка

Гравиметрической съемкой называют измерения силы тяжести и определения координат пунктов. Совокупность всех гравиметрических наблюдений, выполняемых на Земле называют мировой гравиметрической съемкой. Съемки выполняемые на территориях протяженностью сотни и

тысячи километров называют региональными. По результатам региональных съемок составляют гравиметрические карты масштабов 1:500000 и мельче.

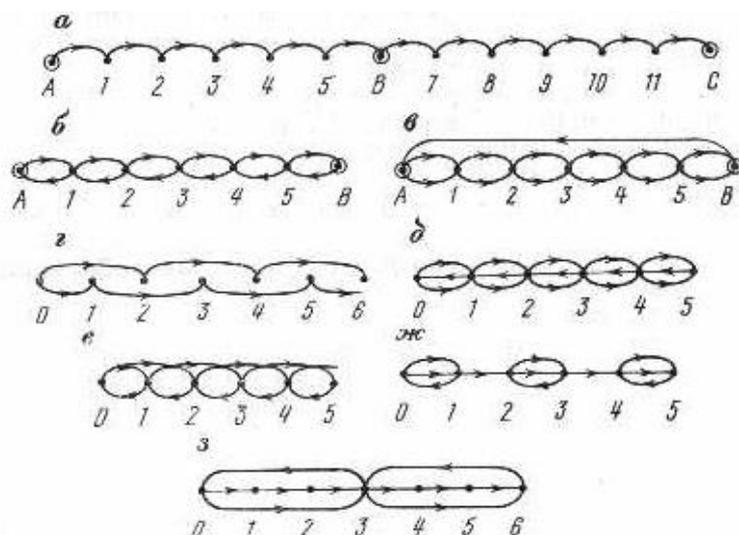


Рис. 1 Методики гравиметрических наблюдений:

а – однократных измерений, б – повторных измерений в обратном ходе, в – повторных измерений в прямом ходе, г – рандомизации помех, разностного нуля-пункта, д – измерения отдельных приращений

Съемки масштаба 1:200000 – 1:50000 в пределах одной или нескольких трапеций соответствующего масштаба проводят с целью изучения геологического строения недр. Сечение карт соответственно 2 и 0.5 мГал.

При поисках месторождений твердых полезных ископаемых проводят гравиметрические съемки масштаба 1:10000 и крупнее. Для решения инженерных задач проводят высокоточные съемки 1:500 по сети 5×5 м

По характеру распределения пунктов наблюдения на местности съемки делят на площадные и профильные. При расположении пунктов вдоль линии съемку называют профильной. Профильные съемки проводятся для решения..... Методика съемки определяется содержанием решаемой задачи.

Площадной называется съемка, результаты которой позволяют построить карту изоаномал силы тяжести.

Под методикой съемки понимается:

- 1) вид съемки;
- 2) точность съемки, масштаб и сечение изоаномал отчетной карты;
- 3) система расположения и густота рядовых пунктов наблюдения, система исходных и опорных пунктов;
- 4) техника полевых измерений;
- 5) точность и способы проведения геодезических работ.

Наблюдения на пунктах рядовой сети выполняют отдельными рейсами опирающимися на пункты опорной сети. Точность наблюдений на рядовых пунктах в 1.5 – 2 раза ниже чем на опорных.

Гравиметрические опорные пункты должны по возможности располагаться на площади равномерно, иметь стабильное основание для установки прибора. Удобно совмещать пункты опорной гравиметрической сети с пунктами геодезических сетей. Создание опорного пункта должно сопровождаться определением 2 – 3 пунктов спутников.

Густота сети пунктов наблюдений, точность измерений, характеристики применяемой техники регламентируются действующими ГОСТами и инструкциями.

Гравиметры перед съемкой должны пройти предполевую подготовку:

- а) исследование зависимости показаний прибора от атмосферного давления, температуры, режима транспортировки;
- б) изучение закона смещения нуляпункта;
- в) определение цены деления;
- г) определение времени становления отсчета;
- д) проверка герметичности;
- е) определение полного диапазона без перестройки;
- ж) определение люфта измерительного устройства;
- и) сопоставление результатов измерений различными приборами.

Национальная система метрологического обеспечения измерений силы тяжести предложена И. Д. Буланже. Она состоит из системы эталонных полигонов, охватывающих весь диапазон изменения силы тяжести на территории страны: Московский эталонный полигон, Кольский высокоточный гравиметрический полигон, Якутский гравиметрический полигон и др. Масштаб системы задается абсолютными измерениями.

Гравиметрические измерения выполняются отдельными *рейсами*. Рейс – это непрерывная последовательность измерений с гравиметром, объединенная общим смещением нуля-пункта, которая начинается и заканчивается на опорном пункте.

Часть рейса между двумя соседними по времени опорными пунктами называется *звеном*. Основным типом рейса является однодневный. Наблюдения в рейсах проводятся, как правило, по однократной методике. При наблюдениях используются, обычно, два гравиметра.

При проведении съемок в труднодоступных районах наблюдения выполняют тремя гравиметрами одновременно. Это исключает необходимость повторения рейса в случае обнаружения брака в измерениях одним из гравиметров.

Если гравиметры показывают стабильность в смещении нуля-пункта, обеспечивающую точность результатов наблюдения, то допускается увеличение продолжительности рейса.

Измерения в рейсе начинают и заканчивают на опорных гравиметрических пунктах (ОГП), на которых известно абсолютное значение ускорения силы тяжести g_0 .

2. Расчетная часть

По исходным данным следует выполнить все необходимые расчеты в следующей последовательности:

- 1) Выписать исходные данные из ведомости обработки гравиметрических измерений: номера съемочных точек, средние моменты времени снятия отчетов по шкале микрометра в долях часа и средние отсчеты в оборотах микрометра.
- 2) Вычислить эффективные значения силы тяжести в точках наблюдения по формулам:

$$g_i^s = (g_i^s)' + f(s) + \delta g_{л.с.}; (g_i^s)' = C_{T_i} \cdot \bar{S}_i, \quad (1.1)$$

$$C_{T_i} = C_0 + \alpha_C(T_i - T_0), \quad (1.2)$$

где C_{T_i} - цена оборота микрометрического винта гравиметра при температуре T_i в мГал/оборот;

- 3) Вычислить поправки на смещение нуля-пункта гравиметра по формулам:

$$(\delta g_{н.п.})_i = k \cdot \Delta t_i, \quad \Delta t_i = t_i - t_0, \quad (1.3)$$

$$k = \frac{(g_{01}^s - g_{02}^s) - (g_{01} - g_{02})}{t_2 - t_1}, \quad (1.4)$$

где k - коэффициент (скорость) смещения нуля-пункта гравиметра в рейсе, в мГал/час;

- 4) Вычислить приращения силы тяжести между определяемым и исходным пунктами по формуле:

$$\Delta g_i = g_i^s - g_0^s + (\delta g_{н.п.})_i, \quad (1.5)$$

где g_i^s и g_0^s - эффективные значения силы тяжести соответственно на определяемом и опорном пунктах;

$(\delta g_{н.п.})_i$ - поправка за смещение нуля-пункта гравиметра на определяемом пункте.

- 5) Вычислить абсолютное значение силы тяжести на всех точках съемочной сети по формуле:

$$g_i = g_0 + \Delta g_i, \quad (1.6)$$

где Δg_i - приращение силы тяжести между исходным и определяемым пунктами, получаемое из обработки гравиметрических измерений.

- б) После выполнения вычислений составляются ведомости значений силы тяжести на пунктах съемочной сети и производится оценка точности результатов изменений.
- 7) Начертить график шкаловых поправок гравиметра ГНУ-КВ.

Пример обработки гравиметрического рейса

Гравиметрический рейс выполнен в прямом ходе между двумя опорными пунктами с абсолютными значениями силы тяжести 981 245,000 мГал и 981 217,500 мГал.

Измерения проведены гравиметром ГНУ-КВ № 111 с ценой оборота отсчетного устройства $C_0 = 7,0001$ мГал/оборот и эквивалентным температурным коэффициентом $\alpha_C = -13,17 \cdot 10^{-4}$ мГал/(оборот · градус).

Результаты обработки полевого гравиметрического журнала (средний отсчет по шкале микрометра S_i и время его снятия t_i (в долях часа), название i -го пункта, а также температура гравиметра) вносятся в графы 1–4 ведомости обработки гравиметрического рейса.

Значения шкаловых поправок $f(s)$ для каждого оборота микрометричного винта можно выбрать из табл. 6. При этом значение поправки на доли оборота определяется линейной интерполяцией.

Для определения $f(s)$ можно построить график изменения $f(s)$ по табличным значениям и «снимать» с него величину поправки. Пример такого графика приведен на рисунке 2.

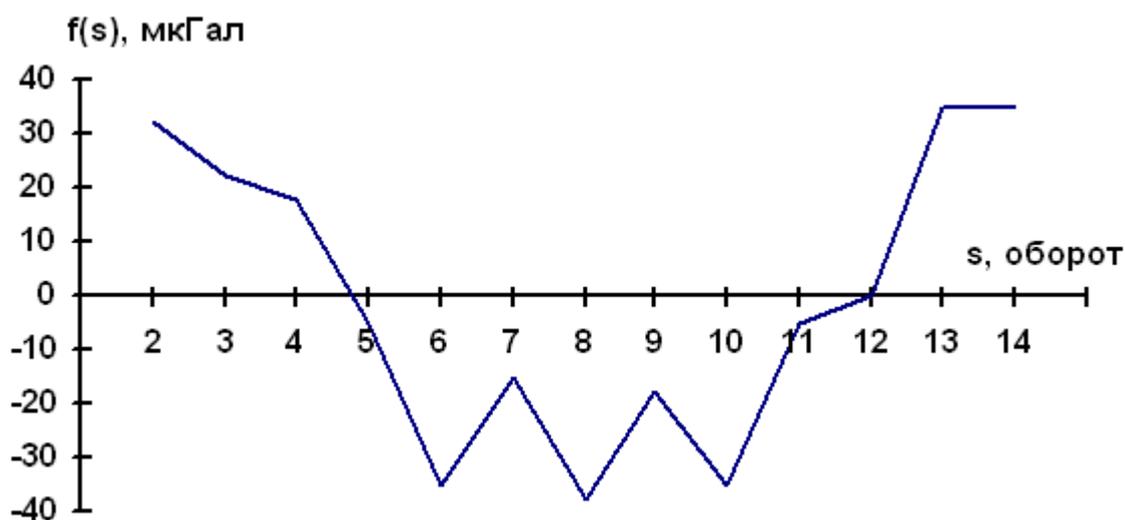


Рис. 2. График шкаловых поправок $f(s)$ гравиметра ГНУ-КВ № 11

Библиографический список

1. **Гравиметрия.** М.: Издательство **геодезической** литературы, 1960. 540 с.
12. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука, 1979. 180 с.
13. ЯворсПоклад, Геннадий Гаврилович. Геодезия [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО. - М. : Академический проект : Парадигма, 2011 (Ульяновск : ОАО "Обл. тип. "Печатный двор", 2011). - 537 с.
2. Попов Б.А. Основы геодезии [Электронный ресурс]: практикум/ Попов Б.А., Нестеренко И.В.— Электрон. текстовые данные.— Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016.— 88 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72927.html>.— ЭБС «IPRbooks»
3. Полежаева Е.Ю. Современный электронный геодезический инструментарий (Виды, метод и способы работы) [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Полежаева Е.Ю. – Электрон. текстовые данные. – Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2010. – 108 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20520>.
4. Автоматизация высокоточных измерений в прикладной геодезии. Теория и практика [Электронный ресурс]/ В.П. Савиных [и др.]— Электрон. текстовые данные.— М.: Академический Проект, Альма Матер, 2016.— 400 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/60080.html>.— ЭБС «IPRbooks»
5. Кочетова Э.Ф. Инженерная геодезия [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кочетова Э.Ф.— Электрон. текстовые данные.— Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012.— 153 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/15995.html>.— ЭБС «IPRbooks»
6. Полежаева Е.Ю. Геодезия с основами кадастра и землепользования [Электронный ресурс]: учебник/ Полежаева Е.Ю.— Электрон. текстовые данные.— Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2009.— 260 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20457.html>.— ЭБС «IPRbooks»
7. Акинъшин С.И. Геодезия [Электронный ресурс]: курс лекций/ Акинъшин С.И.— Электрон. текстовые данные.— Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012.— 304 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22652.html>.— ЭБС «IPRbooks»
8. Нестеренок М.С. Геодезия [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Нестеренок М.С. – Электрон. текстовые данные. – Минск: Высшая школа, 2012. – 288 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20208>

Оглавление

Введение.....	3
Задание на курсовую работу.....	4
Общие теоретические сведения.....	5
Расчетная часть.....	9
Библиографический список.....	11
Оглавление.....	12

ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ГРАВИМЕТРИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для подготовки курсовой работы
для студентов направления
21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование»

Составитель:

Шумейко Вячеслав Владиславович

Невинская Надежда Владимировна

Подписано к изданию

Уч.-изд. л. 1,1.

Объем данных 570 Кб

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14