

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачёва»

Кафедра маркшейдерского дела и геологии

Составитель
Г. А. Корецкая

СПУТНИКОВЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Методические указания к самостоятельной работе

Рекомендовано учебно-методической комиссией
специальности 21.05.04 Горное дело
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2020

Рецензенты

Михайлова Т. В. – доцент кафедры маркшейдерского дела и геологии

Корецкий С. Б. – доцент кафедры маркшейдерского дела и геологии

Корецкая Галина Александровна

Спутниковые навигационные системы: методические указания к самостоятельной работе [Электронный ресурс] для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело, специализации Маркшейдерское дело, заочной формы обучения / сост. Г. А. Корецкая; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Электрон. дан. – Кемерово, 2020.

Составлены с целью оказания методической помощи в выполнении контрольных заданий студентам заочного обучения. Приведены индивидуальные задания по вариантам, примеры расчётов и заполнения ведомостей, указания по контролю и графическому оформлению, необходимые таблицы и список литературы.

© Кузбасский государственный
технический университет
имени Т. Ф. Горбачева, 2020

© Корецкая Г. А.,
составление, 2020

ВВЕДЕНИЕ

В подготовке инженеров – маркшейдеров одной из важнейших научных дисциплин является геодезия.

В конце XX века в геодезии нашли широкое применение новые методы и средства измерений, базирующиеся на использовании искусственных спутников Земли, получивших название спутниковое позиционирование. Новые технологии сумели за короткий промежуток времени проникнуть в различные сферы деятельности, заинтересованные в оперативном определении местоположения. Координаты пунктов нужны не только геодезистам и маркшейдерам, но и морякам, авиаторам, военным, туристам, путешественникам и другим потребителям, начиная от приложений для решения важных научных задач до сферы развлечения и потребительских услуг.

Теме использования Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС/GNSS) ГЛОНАСС (Россия) и NAVSTAR/GPS (США) посвящено огромное количество литературы как зарубежных, так и российских авторов, в которой подробно рассмотрены структура, принципы функционирования и области применения ГНСС. Наряду с глобальными спутниковыми системами, в последнее время стали развиваться региональные системы, охватывающие навигационным полем некоторые локальные регионы Земли. Примером таких систем являются японская квазизенитная система QZSS и индийская IRNSS.

GPS-приёмники для геодезических целей широко внедряются в практику маркшейдерских работ. С помощью ГНСС выполняют следующие виды работ:

- 1) определение границ земельных отводов, шахт и разрезов;
- 2) маркшейдерские замеры и съёмки на открытых работах (съёмка складов и отвалов);
- 3) определение подходных пунктов, привязка скважин;
- 4) наблюдение за деформациями, за сдвижением на подрабатываемых территориях и геодинамических полигонах;
- 5) планировка поверхности;
- 6) управление грузопотоками горного предприятия.

Применение спутниковых технологий позволяет не только повысить производительность полевых и камеральных работ, но

и улучшить качество маркшейдерского обслуживания горного предприятия. Но не стоит забывать о том, что до появления этих технологий радионавигация прошла долгий путь своего развития. Когда появились GPS-приёмники, то возникло мнение, что для определения координат достаточно нажать на кнопку контроллера, но уже первые работы показали, что приёмник может выдать «не те координаты». То наблюдатель неправильно выбрал место и время для наблюдения, то неверно задал режим работы. В настоящее время накоплен достаточный опыт маркшейдерско-геодезических работ с применением спутниковых технологий. Однако ещё остаётся много спорных вопросов, требующих глубокого понимания метода спутникового позиционирования. Нужно помнить, что спутниковые технологии, хотя и во многом подобны классическим методам геодезии, в то же время, имеют ряд особенностей, без знания которых невозможно определить координаты с необходимой точностью.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Целями освоения дисциплины «Спутниковые навигационные системы» в объёме программы для заочников является изучение общих принципов устройства и работы глобальных навигационных спутниковых систем как одного из наиболее эффективных средств современных геодезических измерений.

Дисциплина формирует теоретические знания ключевых принципов построения и функционирования глобальных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС, режимов их работы и методов измерений, теоретических основ определения координат и разностей координат наземных пунктов, факторов, влияющих на точность измерений, и особенности использования систем для решения маркшейдерско-геодезических задач.

В рамках дисциплины раскрывается содержание следующих основных понятий.

Глобальная система спутникового позиционирования (ГССП) – система радионавигационных искусственных спутников Земли, службы контроля и управления и приемников спутниковых радиосигналов, обеспечивающая координатно-временные определения на земной поверхности и в околоземном пространстве.

Спутниковое определение координат (СОК) – определение пространственных координат точки с использованием ГНСС.

GPS (Global Positioning System) – Глобальная система позиционирования (местоопределения), разработана в США.

NAVSTAR (Navigational Sattellits Time and Ranging) – Навигационные спутники (США) измерения времени и координат.

ГЛОНАСС – Глобальная Навигационная Система Спутников (разработана в России).

Псевдодалность – расстояние между спутником и приёмником, вычисленное по времени распространения сигнала без поправки на расхождение часов спутника и приёмника.

Многопутность (многолучевость) – явление многолучевого распространения радиосигнала при одновременном обнаружении приёмником прямых сигналов и отражённых от земных объектов.

Эфемериды спутников – координаты положения спутников на момент времени, интересующий пользователя.

Геометрический фактор (DOP) – коэффициент потери точности, связанный с конфигурацией (геометрией расположения) наблюдаемых спутников.

Сеанс (сессия) – непрерывная регистрация сигналов навигационных спутников приёмниками в течение времени, необходимого для решения поставленной задачи.

WGS-84 – Всемирная геодезическая координатная система 1984 г., используется в NAVSTAR.

ПЗ-90 – Российская система геодезических параметров Земли 1990 г., используется в ГЛОНАСС.

СК-42 – система координат Гаусса-Крюгера, принята в СССР в 1942 г. для картографирования земной поверхности.

Программой предусмотрено выполнение одной контрольной работы, состоящей из двух заданий. Студенты, представившие контрольную работу, допускаются к выполнению лабораторных работ, которые проводятся в период экзаменационной сессии. Решение заданий выполняется в специальных ведомостях, заполняются аккуратно, иллюстрируются схемами. Ответы на вопросы должны формулироваться кратко, но исчерпывающе.

Студенты, получившие положительные рецензии на контрольную работу и выполнившие лабораторные работы, допускаются к сдаче зачёта.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

1. ВВЕДЕНИЕ

Содержание дисциплины и её значение в маркшейдерском и геодезическом производстве. История развития методов спутниковых технологий. Спутниковые радионавигационные системы первого и второго поколения. Достоинства и недостатки метода спутникового определения координат (СОК). Современные технологии производства полевых маркшейдерских работ.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ЭЛЕКТРОННОЙ ДАЛЬНОМЕТРИИ

Принцип измерения дальномерных расстояний. Сведения об электромагнитной волне. Законы распространения электромагнитных волн. Уравнение гармонических колебаний. Методы измерения расстояний электронными дальномерами: непосредственный (по времени распространения) и косвенный (по числу уложенных модулированных волн). Модуляция электромагнитных волн. Способы регистрации разности фаз.

3. СПУТНИКОВЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Назначение Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Система NAVSTAR: космический сектор GPS, сектор контроля и управления, сигналы GPS. Объединение передаваемой информации. Модернизация GPS. Структура российской системы ГЛОНАСС, перспективы развития.

Пользовательский сектор. Типы GPS/ГЛОНАСС – приёмников по архитектуре, по методу действия и их назначению. Категории пользователей. Информационно-техническое дополнение. Международная служба вращения Земли и Госстандарт России. Международная GPS служба. Космическая группировка Европейского космического агентства Galileo. Развёртывание систем спутниковой навигации в Китае, Индии и Японии.

Общие сведения о методе определения координат с помощью ГНСС и организации спутниковых наблюдений.

4. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ И СВЯЗЬ МЕЖДУ НИМИ

Основные сведения о форме и размерах Земли (шар, геоид, квази-геоид, земной эллипсоид, референц-эллипсоид). Определение положения точек земной поверхности и применяющиеся для этого системы координат: геодезическая, географическая, система плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса-Крюгера (СК-42). Перевычисление координат из одной зоны в другую. Пространственные системы прямоугольных координат (земные и небесные): геоцентрические системы WGS-84, ПЗ-90. Топоцентрические системы. Балтийская система высот. Системы астрономического и атомного времени. Функции времени в спутниковых технологиях. Системное время в радионавигационных системах. Параметры связи систем координат.

Общие сведения о редуccionных задачах. Вычисление поправок к измеренным элементам: горизонтальным направлениям, длинам линий и углам. Переход от пространственного положения геодезических элементов на физической поверхности Земли к условной уровенной поверхности, к поверхности квази-геоида, референц-эллипсоида, на плоскость проекции Гаусса-Крюгера. Обратные редуccionные переходы.

5. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ В СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ

Модели параметров спутниковых наблюдений. Виды спутниковых наблюдений. Сущность абсолютного метода определения координат. Погрешность абсолютных измерений. Пространственная линейная засечка. Уравнение теоретической дальности. Понятие псевдодальности. Сущность дифференциального (относительного) метода. Способы разностей при дифференциальном методе (первых, вторых, третьих и четвёртых разностей). Роль различных фазовых разностей в задачах позиционирования. Комбинации фазовых данных. Достоинства и недостатки методов, точность, область применения. Понятие базовой станции («базы»), «базовой референцной сети», способы создания.

6. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Виды погрешностей спутниковых измерений. Понятие невозмущённого движения спутника. Влияние изменения эфемерид спутников. Влияние среды распространения на сигналы GPS / ГЛОНАСС. Строение атмосферы Земли. Ионосферная задержка сигнала. Модели ионосферы. Влияние тропосферы на параметры спутниковых наблюдений. Модели тропосферных задержек. Атмосферные поля температуры, давления и влажности. Природа многопутности (многолучевости), рассеивание сигнала. Инструментальные источники погрешностей. Геометрический фактор (DOP, PDOP, GDOP, VDOP). Понятие благоприятного расположения спутников на небосклоне.

7. ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПРИ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Организация спутниковых наблюдений. Проектирование пунктов ССК. Обеспечение эфемеридами спутников. Время в радионавигационных системах. Составление альманаха. Рекомендации по построению высотных сетей. Выбор параметров наблюдений: временная зона, приближённые координаты района, минимальный угол возвышения. Режимы спутниковых наблюдений: статика, быстрая статика, реокупация, «стою-иду», кинематика. Рекомендации по применению режимов, область применения. Подготовка аппаратуры. Ведение полевого журнала и обработка результатов. Новые методы и средства маркшейдерско-геодезических измерений на горных предприятиях. Программные модули для математической обработки результатов полевых маркшейдерско-геодезических измерений при топографической съёмке. Программное обеспечение математической обработки результатов спутникового определения координат. Применение инновационных технологий для маркшейдерских съёмок на угольных разрезах: наземное лазерное сканирование, беспилотная авиация, комбинированная съёмка с использованием технологии SmartStation. Перспективы развития инновационных спутнико-

вых технологий в геодезии, маркшейдерии, строительстве и горном деле.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

ПЕРЕВЫЧИСЛЕНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ ИЗ ОДНОЙ ЗОНЫ В ДРУГУЮ

В маркшейдерско-геодезическом производстве при подготовке данных для спутниковых наблюдений широкое применение находит система плоских прямоугольных координат Гаусса–Крюгера. Земной эллипсоид разбивают меридианами на равные зоны размером по долготе 6° или 3° . Шестиградусные зоны нумеруют с запада на восток от Гринвичского меридиана. Началом координат в каждой зоне служит точка пересечения осевого меридиана и экватора. Для однозначного определения положения точки на земной поверхности перед ординатой ставят номер зоны.

В связи с тем, что каждая зона представляет самостоятельную систему координат, нередко возникает задача перевычисления (преобразования) координат из одной зоны в другую. Сущность этой задачи состоит в том, что по известным координатам X_I, Y_I , отнесённым к осевому меридиану одной зоны с долготой L_0 , находят координаты X_{II}, Y_{II} той же точки с отнесением их к осевому меридиану смежной зоны.

Необходимость такого преобразования возникает в случаях:

- 1) уравнивания триангуляции или полигонометрии, когда исходные координаты отнесены к осевым меридианам смежных зон;
- 2) введения трёхградусных зон при производстве крупномасштабных съёмок (если осевые меридианы трёхградусной и шестиградусной зон не совпадают);
- 3) при обработке геодезической сети, когда пункты расположены в полосе перекрытия.

Учитывая, что территория России располагается в 29 шестиградусных зонах, случаи перевычисления координат встречаются довольно часто. При составлении каталогов геодезических пунктов существует правило: для пунктов, лежащих вблизи граничного меридиана, давать координаты в двух смежных зонах. Эта мера существенно уменьшает число случаев преобразования координат из зоны в зону, но не исключает их.

Известны следующие способы преобразования координат при переходе из одной зоны в другую:

- 1) перевычисление прямоугольных координат с предварительным переходом к геодезическим;
 - 2) перевычисление координат путём редуцирования измененных направлений;
 - 3) перевычисление координат с помощью таблиц [6].
- Эти таблицы используют для преобразования координат:
- 1) геодезических в прямоугольные и обратно;
 - 2) прямоугольных из трёхградусной зоны в шестиградусную;
 - 3) прямоугольных из одной шестиградусной зоны в другую шестиградусную зону.

ЗАДАНИЕ 1

Перевычисление прямоугольных координат из одной шестиградусной зоны в другую шестиградусную зону (из восточной в западную или из западной в восточную)

Исходные данные

№ варианта	X, м	Y, м	№ зоны	Переход из зоны в зону
1	6027906,80	+220088,11	4	Запад-восток
2	6180045,23	-80529,08	5	Восток-запад
3	5992794,33	+249674,82	6	Запад-восток
4	6180052,68	-80542,01	7	Восток-запад
5	6103817,50	+171333,92	8	Запад-восток
6	6105576,84	+212300,80	9	Запад-восток
7	6280045,33	-70525,40	10	Восток-запад
8	6037806,80	+232188,12	11	Запад-восток
9	6187607,37	-268889,70	12	Восток-запад
10	6180046,13	-80532,87	13	Восток-запад
11	5991694,30	-239484,90	14	Восток-запад
12	5891694,35	-249484,91	15	Восток-запад
13	6030333,80	+100640,30	16	Запад-восток
14	6103817,50	-171333,92	17	Восток-запад
15	6100590,49	-220494,22	18	Восток-запад
16	6100580,49	+220493,11	19	Запад-восток

Указания к выполнению задания.

1. Выписать исходные данные (координаты пунктов, № зоны) в соответствии с номером варианта.
2. Изучить теоретический материал по теме 3.
3. Разобрать пример выполнения задания.
4. Выписать расчётные формулы, обратив внимание на точность расчётов (от 2-х до 6-ти знаков после запятой).
5. Вычисления выполнить с использованием электронных таблиц Excel и заполнить соответствующие ведомости.
6. Начертить схему преобразования координат.

Описание таблиц

Таблицы для перевычисления прямоугольных координат из одной шестиградусной зоны в другую шестиградусную зону состоят из двух частей [6, с. 63–70]. Первая часть предназначена для перевычисления координат в смежную зону, в пределах широт от 0 до 82°; вторая часть предназначена для перевычисления координат через зону, в пределах широт от 70 до 82°. Точность перевычисления координат 0,1–0,5 м.

Расчётные формулы

$$X_{II} = X_I + a_0 + a(a)_x + b(b)_x + a^2(a^2)_x + ab(ab)_x + b^2(b^2)_x + \\ + a^3(a^3)_x + a^2b(a^2b)_x + ab^2(ab^2)_x + 0,1b^3(b^3)_x;$$

$$Y_{II} = Y_I + b_0 + a(a)_y + b(b)_y + a^2(a^2)_y + ab(ab)_y + b^2(b^2)_y + \\ + a^3(a^3)_y + a^2b(a^2b)_y + ab^2(ab^2)_y + 0,1b^3(b^3)_y,$$

где X_I , Y_I , – координаты в данной зоне; X_{II} , Y_{II} – координаты в смежной зоне; a_0 , $(a)_x$, $(b)_x$..., b_0 , $(a)_y$, $(b)_y$... – табличные величины;

$$a = (x_1 - x_0) \cdot 10^{-5}; \quad b = (y_1 - y_0) \cdot 10^{-5},$$

где x_0 – значение абсциссы точки, округлённое до 100 км; y_0 – табличная величина.

Значения величин y_0 , b_0 , $(a)_y$, $(b)_x$, $(a^2)_y$, $(ab)_x$, $(b^2)_y$, $(a^3)_y$, $(a^2b)_x$, $(a^2b)_y$, $(b^3)_x$ даны в таблицах с двумя знаками – плюс и минус. При перевычислении координат из восточной зоны в западную принимают верхние знаки, а при перевычислении из западной зоны в восточную – нижние знаки.

Вычисления можно производить по величинам a_0 , b_0 , $(a)_x$, $(b)_y$, ..., $(a)_y$, $(b)_x$, ..., выбираемым из таблиц как по ближайшему меньшему, так и по ближайшему большему значению x_0 .

Значения a , b вычисляют до 6 знаков после запятой; a^2 , ab , b^2 – до 4 знаков, в остальных случаях – до 2 знаков. Порядок действий при вычислениях указан в работе [2, с. 64].

Фрагмент с табличными значениями для координат $x_0 = 5900$ – 6300 км и $y_0 = \mp 200$ км приведен в данных указаниях в табл. 1.

Пример перевычисления прямоугольных координат из восточной 6° зоны в западную 6° зону

Исходные данные: $X_I = 6180031,61$ м; $Y_I = -180474,72$ м (рис. 1).

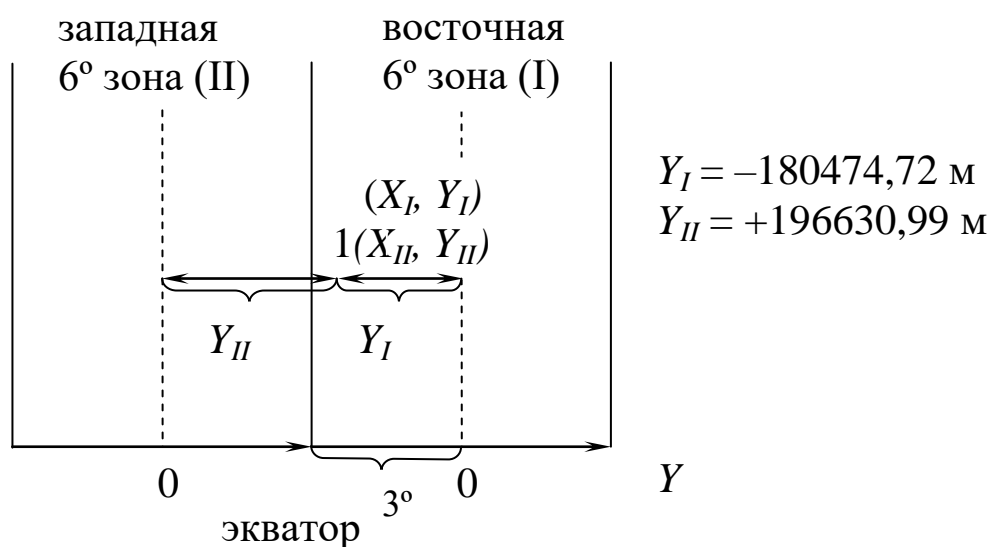


Рис. 1

Ведомость № 1

Перевычисление координат из восточной 6° зоны в западную 6° зону
по ближайшему меньшему $X_0 = 6100000$ м, $Y_0 = -200000$ м

I		II		III		I×II		I×III	
						X_I	6180031,61	Y_I	-180474,72
a	+0,800316	$(a)_x$	-375,25	$(a)_y$	-8567,89	$a(a)_x$	-300,32	$a(a)_y$	-6857,00
b	+0,195253	$(b)_x$	+8567,89	$(b)_y$	-375,25	$b(b)_x$	+1672,90	$b(b)_y$	-73,27
a^2	+0,6405	$(a^2)_x$	-5,95	$(a^2)_y$	-46,65	$a^2(a^2)_x$	-3,81	$a^2(a^2)_y$	-29,88
ab	+0,1563	$(ab)_x$	+93,31	$(ab)_y$	-11,90	$ab(ab)_x$	+14,58	$ab(ab)_y$	-1,86
b^2	+0,0381	$(b^2)_x$	+5,95	$(b^2)_y$	+46,65	$b^2(b^2)_x$	+0,23	$b^2(b^2)_y$	+1,78
a^3	+0,51	$(a^3)_x$	+0,04	$(a^3)_y$	+0,35	$a^3(a^3)_x$	+0,02	$a^3(a^3)_y$	+0,18
a^2b	+0,12	$(a^2b)_x$	-1,06	$(a^2b)_y$	+0,12	$a^2b(a^2b)_x$	-0,13	$a^2b(a^2b)_y$	+0,02
ab^2	+0,03	$(ab^2)_x$	-0,12	$(ab^2)_y$	-1,06	$ab^2(ab^2)_x$	-0,00	$ab^2(ab^2)_y$	-0,03
$0,1b^3$	+0,00	$(b^3)_x$	+3,52	$(b^3)_y$	-0,39	$0,1b^3(b^3)_x$	+0,00	$0,1b^3(b^3)_y$	-0,00
						a_0	-683,92	b_0	+384065,80
						X_{II}	6180731,16	Y_{II}	+196630,99

Ведомость № 2
 Перевычисление координат из восточной 6° зоны в западную 6° зону
 по ближайшему большему $X_0 = 6200000$ м, $Y_0 = -200000$ м

I		II		III		I×II		I×III	
						X_I	6180031,61	Y_I	-180474,72
a	-0,199684	$(a)_x$	-387,03	$(a)_y$	-8660,14	$a(a)_x$	+77,28	$a(a)_y$	+1729,29
b	+0,195253	$(b)_x$	+8660,14	$(b)_y$	-387,03	$b(b)_x$	+1690,92	$b(b)_y$	-75,57
a^2	+0,0399	$(a^2)_x$	-5,83	$(a^2)_y$	-45,59	$a^2(a^2)_x$	-0,23	$a^2(a^2)_y$	-1,82
ab	-0,0390	$(ab)_x$	+91,13	$(ab)_y$	-11,66	$ab(ab)_x$	-3,56	$ab(ab)_y$	+0,45
b^2	+0,0381	$(b^2)_x$	+5,83	$(b^2)_y$	+45,59	$b^2(b^2)_x$	+0,22	$b^2(b^2)_y$	+1,74
a^3	-0,01	$(a^3)_x$	+0,04	$(a^3)_y$	+0,36	$a^3(a^3)_x$	-0,00	$a^3(a^3)_y$	-0,00
a^2b	+0,01	$(a^2b)_x$	-1,06	$(a^2b)_y$	+0,12	$a^2b(a^2b)_x$	-0,01	$a^2b(a^2b)_y$	+0,00
ab^2	-0,01	$(ab^2)_x$	-0,12	$(ab^2)_y$	-1,06	$ab^2(ab^2)_x$	+0,00	$ab^2(ab^2)_y$	+0,01
$0,1b^3$	+0,00	$(b^3)_x$	+3,55	$(b^3)_y$	-0,41	$0,1b^3(b^3)_x$	+0,00	$0,1b^3(b^3)_y$	-0,00
						a_0	-1065,08	b_0	+375451,61
						X_{II}	6180731,16	Y_{II}	+196630,99

Таблица 1

Основные величины для перевычисления прямоугольных координат
из одной шестиградусной зоны в другую шестиградусную зону
(в пределах широт от 0 до 82°)

x_0 y_0 (км)	a_0 b_0	$(a)_x$ $(a)_y$	$(b)_x$ $(b)_y$	$(a^2)_x$ $(a^2)_y$	$(ab)_x$ $(ab)_y$	$(b^2)_x$ $(b^2)_y$	$(a^3)_x$ $(a^3)_y$	$(a^2b)_x$ $(a^2b)_y$	$(ab^2)_x$ $(ab^2)_y$	$(b^3)_x$ $(b^3)_y$
5900 ± 200	+42,47 ±401012,16	-351,00 ∓ 8377,08	±8377,08 -351,00	-6,17 ∓ 48,74	±97,49 -12,34	+6,17 ±48,74	+0,03 ±0,34	∓ 1,04 +0,10	-0,10 ∓ 1,04	±3,45 -0,34
6000 ± 200	-314,66 ±392586,68	-363,23 ∓ 8473,53	±8473,53 -363,23	-6,06 ∓ 47,70	±95,41 -12,13	+6,06 ±47,70	+0,04 ±0,35	∓ 1,04 +0,11	-0,11 ∓ 1,04	±3,48 -0,36
6100 ± 200	-683,92 ±384065,80	-375,25 ∓ 8567,89	±8567,89 -375,25	-5,95 ∓ 46,65	±93,31 -11,90	+5,95 ±46,65	+0,04 ±0,35	∓ 1,06 +0,12	-0,12 ∓ 1,06	±3,52 -0,39
6200 ± 200	-1065,08 ±375451,61	-387,03 ∓ 8660,14	±8660,14 -387,03	-5,83 ∓ 45,59	±91,19 -11,66	+5,83 ±45,59	+0,04 ±0,36	∓ 1,06 +0,12	-0,12 ∓ 1,06	±3,55 -0,41
6300 ± 200	-1457,91 ±366746,23	-398,57 ∓ 8750,26	±8750,26 -398,57	-5,70 ∓ 44,52	±89,05 -11,41	+5,70 ±44,52	+0,04 ±0,36	∓ 1,07 +0,13	-0,13 ∓ 1,07	±3,58 -0,43

ЗАДАНИЕ 2

Перевычисление прямоугольных координат из шестиградусной зоны в трёхградусную зону и обратно

Перевычисление прямоугольных координат из шестиградусной зоны в трёхградусную и обратно (в пределах широт от $33^{\circ}30'$ до $76^{\circ}30'$) выполняются по таблицам и расчётным формулам [6, с. 60]. Точность преобразования составляет 1–2 м.

Расчётные формулы

$$x_2 = (a + \Delta a m) \Delta y_1 + X_0 + \Delta X_0 m + \delta x; \quad (1)$$

$$y_2 = (b + \Delta b m) \Delta y_1^2 \cdot 10^{-10} + 0,998628 \cdot \Delta y_1; \quad (2)$$

$$\Delta y_1 = -(Y_0 + \Delta Y_0 m + \delta Y_0 - y_1); \quad (3)$$

$$m = (x_1 - X_{\text{табл}}) \cdot 10^{-5}, \quad (4)$$

где x_1, y_1 – координаты в шестиградусной зоне; x_2, y_2 – координаты в трёхградусной зоне; X_0, Y_0, a, b – основные величины; $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta a, \Delta b$ – разности табличных значений; $\delta Y_0, \delta x$ – поправки; $X_{\text{табл}}$ – ближайшее меньшее табличное значение X .

Знаки в формулах (1)–(3) даны для перевычисления в восточную зону. При вычислении координат в западную зону знаки в действии № 2 (прямого перехода) и № 15 (обратного перехода) меняются на противоположные (ведомость № 3).

В методических указаниях приведены фрагменты таблиц [6, с. 62] (табл. 2, 3, 4) для координаты x_1 от 5300 до 6400 км. В табл. 2 помещены основные величины X_0, Y_0, a, b и их разности $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta a, \Delta b$ по аргументу x_1 через 100 км; в табл. 3 и 4 помещены поправки δY_0 и δx для различных значений x_1, m и Δy_1 .

Значения основных величин и их разностей выбираются по ближайшему меньшему табличному значению x_1 без интерполирования. Значения поправок δY_0 – по x_1 и m , значения поправок δx – по x_1 и Δy_1 также без интерполирования.

Таблица 2

Основные величины X_0 , Y_0 , a , b и их разности

x_1 , км	Y_0 , м	ΔY_0	b	Δb	a	Δa 10^{-6}	X_0 , м	ΔX_0
		–	–	+	–	–		+
5300	224759	3910	27,6	0,5	0,038767	547	5295639	100016
5400	220849	3964	27,1	0,5	0,039314	538	5395655	100020
5500	216885	4017	26,6	0,5	0,039852	527	5495675	100024
5600	212868	4069	26,1	0,5	0,040379	518	5595699	100028
5700	208799	4121	25,6	0,5	0,040897	507	5695727	100032
5800	204678	4171	25,1	0,5	0,041404	497	5795759	100037
5900	200507	4220	24,6	0,6	0,041901	487	5895796	100040
6000	196287	4269	24,0	0,5	0,042388	476	5995836	100045
6100	192018	4316	23,5	0,5	0,042864	466	6095881	100049
6200	187702	4362	23,0	0,6	0,043330	455	6195930	100053
6300	183340	4406	22,4	0,5	0,043785	444	6295983	100057
6400	178934	4451	21,9	0,6	0,044229	433	6396040	100060

Таблица 3

Поправки δY_0 , м (всегда положительные)

m	δY_0	m	δY_0	m	δY_0
0,0	0	0,0	0	0,0	0
0,1	2	0,1	2	0,1	2
0,2	4	0,2	4	0,2	4
0,3	6	0,3	5	0,3	5
0,4	7	0,4	6	0,4	5
0,5	7	0,5	6	0,5	6
0,6	7	0,6	6	0,6	5
0,7	6	0,7	5	0,7	5
0,8	4	0,8	4	0,8	4
0,9	2	0,9	2	0,9	2
1,0	0	1,0	0	1,0	0
$x_1 = 5000-5600$		$x_1 = 5600-6100$		$x_1 = 6100-6600$	

Поправки δx , м (всегда положительные)

Δy_1 , км \ / \ x_1 , км	60	80	100	120	140	160	180	190	200	210
5000	0	1	1	2	2	3	4	5	6	6
6000	0	1	1	2	2	3	4	5	6	6
7000	0	1	1	2	2	3	4	4	5	5
Δy_1 , км \ / \ x_1 , км	220	230	240	250	260	270	280	180	290	300
5000	7	8	8	9	10	11	12	12	13	13
6000	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12
7000	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11

**Пример преобразования прямоугольных координат
из западной шестиградусной зоны в восточную
трёхградусную и обратно в восточную шестиградусную зону**

Исходными данными (рис. 2) служат координаты пункта, полученные в предыдущей работе:

$$X_{II} = 6180731,16 \text{ м}; Y_{II} = +196630,99 \text{ м.}$$

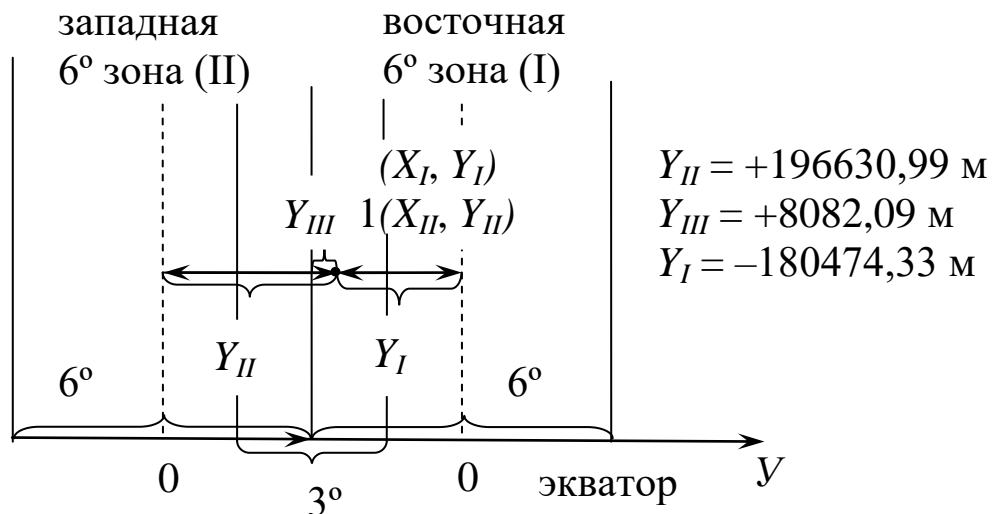


Рис. 2

Ведомость № 3

Перевычисление прямоугольных координат
из шестиградусной зоны в трёхградусную зону и обратно

№ шага	Формулы	Вычисления	Вычисления
1	$x_1 (X_{II})$	6180731,16	6176301,60
2	$y_1 (Y_{II})$	+196630,99	+8082,09
3	$m = (x_1 - X_{\text{табл.}}) \cdot 10^{-5}$	0,807312	0,760316
4	Y_0	192018	192018
5	$\Delta Y_0 m$	-3484,36	-3293,18
6	δY_0	+4	+4
7	$-y_1$	-196630,99	-8082,09
8	Δy_1	+8093,35	-180646,73
9	$\Delta y_1^2 \cdot 10^{-10}$	+0,01	+3,26
10	b	-23,50	-23,50
11	$\Delta b m$	0,40	0,38
12	$b + \Delta b m$	-23,10	-23,12
13	$(b + \Delta b m) \Delta y_1^2 \cdot 10^{-10}$	-0,15	-75,44
14	$0,998628 \cdot \Delta y_1$	8082,24	-180396,88
15	$y_2 (Y_{III})$	+8082,09	-180474,33
16	a	-0,042864	-0,042864
17	$\Delta a m$	-0,000376	-0,000356
18	$a + \Delta a m$	-0,043240	-0,043220
19	$(a + \Delta a m) \Delta y_1$	-349,96	+7807,47
20	X_0	6095881	6095881
21	$\Delta X_0 m$	80770,56	76338,99
22	δx	0	+4
23	$x_2 (X_{III})$	6176301,60	6180031,46

Вывод: сравним значения координаты Y точки 1 в результате последовательных преобразований $Y_I \rightarrow Y_{II} \rightarrow Y_{III} \rightarrow Y_I$.
-180474,72 м \rightarrow +196630,99 м \rightarrow +8082,09 м \rightarrow -180474,33 м.

Точность перевычислений составляет 0,39 м.

Оформление контрольной работы

Преобразование координат выполняется в ведомостях № 1–3 (прил.) согласно примеру выполнения контрольной рабо-

ты. Записи вести чётко и аккуратно, схемы вычерчивать карандашом.

Перечень вопросов для самопроверки и зачёта

1. Что понимают под термином «Глобальная навигационная спутниковая система»?
2. Каково назначение спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS?
3. Достоинства и недостатки спутникового позиционирования.
4. Из каких частей (секторов) состоят современные системы спутникового позиционирования?
5. Из каких функциональных элементов состоит спутниковый приемник?
6. Дать определение «базовой» и «подвижной» станции.
7. Как называется непрерывный шумоподобный радиосигнал, излучаемый спутниками?
8. Как называется радиосигнал стандартной точности?
9. Как называется радиосигнал высокой точности?
10. Что понимают под явлением многопутности?
11. Дать определение «спутниковому созвездию».
12. Что означает потеря связи?
13. Как измеряется высота спутниковой антенны?
14. Способы и режимы спутниковых измерений.
15. Что понимают под эфемеридами спутников?
16. Что означают факторы DOP, GDOP, PDOP?
17. Какими способами может быть установлен GPS-приёмник?
18. Перечислите факторы, влияющие на прохождение радиосигнала?
19. Что означает «не благоприятное расположение спутников»?
20. При каких значениях PDOP не рекомендуется выполнять наблюдения?
21. Цель прогнозирования спутникового созвездия?
22. Исходные данные для прогнозирования спутникового созвездия?

23. Как рекомендуют измерять высоту антенны?
24. Современная система геодезического обеспечения спутниковых измерений?
25. Дать характеристику сетей ФАГС (расстояние между пунктами, средние квадратические погрешности взаимного положения).
26. Дать характеристику сетей ВГС.
27. Дать характеристику сетей СГС–I.
28. Назовите высокоточные отечественные и зарубежные системы координат спутниковых определений.
29. Порядок выполнения работы по созданию съёмочного обоснования.
30. Требования к точности планового определения координат пунктов съёмочного обоснования?
31. Сущность подготовительного этапа по созданию съёмочного обоснования.
32. В чём заключается камеральная обработка спутниковых измерений?
33. Как рассчитывается абсолютная и относительная погрешности положения определяемой точки относительно исходных пунктов?
34. Перечислите способы регистрации разности фаз.
35. Фигура и размеры Земли и некоторых земных эллипсоидов.
36. Геодезическая система координат.
37. Пространственная прямоугольная система координат.
38. Зональная система координат Гаусса–Крюгера.
39. Сущность редуccionных переходов.
40. Ведение полевого журнала и обработка спутниковых измерений.
41. Начертить схему геоцентрической и топоцентрической систем координат и дать их характеристику.
42. Для чего необходим переход от одной плоской системы координат к другой при решении задач спутниковой геодезии?

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ЗАДАНИЕ 1

Перевычисление прямоугольных координат из одной шестиградусной зоны в другую шестиградусную зону (из восточной в западную или из западной в восточную)

Исходные данные: $X_I =$ _____, $Y_I =$ _____;
переход из _____ зоны в _____ зону.

Содержание работы

1.1. Начертить схему перевычисления прямоугольных координат заданной точки из одной 6° зоны в другую 6° зону (рис. 1).

Рис. 1

1.2. Привести расчётные формулы для перевычисления координат:

$$X_{II} = X_I + \frac{\Delta X}{\cos \delta} \quad (1)$$

$$Y_{II} = Y_I + \Delta Y \quad (2)$$

где _____

1.3. Заполнить ведомости № 1 и № 2, сравнить полученные результаты по ближайшему большему и ближайшему меньшему X_0 , Y_0 .

ВЕДОМОСТЬ № 1

Перевычисление координат из _____ 6° зоны в _____ 6° зону
по ближайшему меньшему $X_0 =$ _____ м, $Y_0 =$ _____ м

I	II	III	I×II	I×III
			X_I	Y_I
a	$(a)_x$	$(a)_y$	$a(a)_x$	$a(a)_y$
b	$(b)_x$	$(b)_y$	$b(b)_x$	$b(b)_y$
a^2	$(a^2)_x$	$(a^2)_y$	$a^2(a^2)_x$	$a^2(a^2)_y$
ab	$(ab)_x$	$(ab)_y$	$ab(ab)_x$	$ab(ab)_y$
b^2	$(b^2)_x$	$(b^2)_y$	$b^2(b^2)_x$	$b^2(b^2)_y$
a^3	$(a^3)_x$	$(a^3)_y$	$a^3(a^3)_x$	$a^3(a^3)_y$
a^2b	$(a^2b)_x$	$(a^2b)_y$	$a^2b(a^2b)_x$	$a^2b(a^2b)_y$
ab^2	$(ab^2)_x$	$(ab^2)_y$	$ab^2(ab^2)_x$	$ab^2(ab^2)_y$
$0,1b^3$	$(b^3)_x$	$(b^3)_y$	$0,1b^3(b^3)_x$	$0,1b^3(b^3)_y$
			a_0	b_0
			X_{II}	Y_{II}

ВЕДОМОСТЬ № 2

Перевычисление координат из _____ 6° зоны в _____ 6° зону
по ближайшему большему $X_0 =$ _____ м, $Y_0 =$ _____ м

I	II	III	I×II	I×III
			X_I	Y_I
a	$(a)_x$	$(a)_y$	$a(a)_x$	$a(a)_y$
b	$(b)_x$	$(b)_y$	$b(b)_x$	$b(b)_y$
a^2	$(a^2)_x$	$(a^2)_y$	$a^2(a^2)_x$	$a^2(a^2)_y$
ab	$(ab)_x$	$(ab)_y$	$ab(ab)_x$	$ab(ab)_y$
b^2	$(b^2)_x$	$(b^2)_y$	$b^2(b^2)_x$	$b^2(b^2)_y$
a^3	$(a^3)_x$	$(a^3)_y$	$a^3(a^3)_x$	$a^3(a^3)_y$
a^2b	$(a^2b)_x$	$(a^2b)_y$	$a^2b(a^2b)_x$	$a^2b(a^2b)_y$
ab^2	$(ab^2)_x$	$(ab^2)_y$	$ab^2(ab^2)_x$	$ab^2(ab^2)_y$
$0,1b^3$	$(b^3)_x$	$(b^3)_y$	$0,1b^3(b^3)_x$	$0,1b^3(b^3)_y$
			a_0	b_0
			X_{II}	Y_{II}

ЗАДАНИЕ 2

Перевычисление прямоугольных координат из шестиградусной зоны в трёхградусную зону и обратно

Исходные данные: $x_I (X_{II}) = \underline{\hspace{2cm}}$, $y_I (Y_{II}) = \underline{\hspace{2cm}}$.

Содержание работы

2.1. Начертить схему перевычисления прямоугольных координат заданной точки из шестиградусной зоны в трёхградусную зону (рис. 2).

Рис. 2

2.2. Привести расчётные формулы для перевычисления координат из шестиградусной зоны в трёхградусную.

$$x_2 = \underline{\hspace{2cm}}; \quad (1)$$

$$y_2 = \underline{\hspace{2cm}}; \quad (2)$$

$$\Delta y_1 = \underline{\hspace{2cm}}; m = \underline{\hspace{2cm}}. \quad (3)$$

2.3. Заполнить ведомость № 3, сравнить значения координаты Y точки 1 в результате последовательных преобразований $Y_I \rightarrow Y_{II} \rightarrow Y_{III} \rightarrow Y_I$.

Контрольные вопросы

1. Дать определение зональной системы прямоугольных координат Гаусса–Крюгера.

2. Для чего совершают переход из одной шестиградусной зоны в другую шестиградусную зону?
3. Для чего совершают переход из шестиградусной зоны в трёхградусную зону?

ВЕДОМОСТЬ № 3

Перевычисление прямоугольных координат
из шестиградусной зоны в трёхградусную зону и обратно

№ шага	Формулы	Вычисления	Вычисления
1	$x_1 (X_{II})$		
2	$y_1 (Y_{II})$		
3	$m = (x_1 - X_{\text{табл.}}) \cdot 10^{-5}$		
4	Y_0		
5	$\Delta Y_0 m$		
6	δY_0		
7	$-y_1$		
8	Δy_1		
9	$\Delta y_1^2 \cdot 10^{-10}$		
10	b		
11	$\Delta b m$		
12	$b + \Delta b m$		
13	$(b + \Delta b m) \Delta y_1^2 \cdot 10^{-10}$		
14	$0,998628 \cdot \Delta y_1$		
15	$y_2 (Y_{III})$		
16	a		
17	$\Delta a m$		
18	$a + \Delta a m$		
19	$(a + \Delta a m) \Delta y_1$		
20	X_0		
21	$\Delta X_0 m$		
22	δx		
23	$x_2 (X_{III})$		

Вывод

$Y_I \rightarrow Y_{II} \rightarrow Y_{III} \rightarrow Y_I$ _____

Точность перевычислений составила _____ м.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Корецкая, Г. А. Современная электронно-оптическая геодезическая аппаратура и спутниковые навигационные системы [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов специальности 130402 «Маркшейдерское дело» / сост. Г. А. Корецкая; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева», Каф. маркшейд. дела, кадастра и геодезии; – Кемерово, 2012. – 91 с.

<http://library.kuzstu.ru/metod.php?n=90594&type=utchposob:common>

2. Попов, В. Н. Геодезия: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Маркшейдерское дело» направления подготовки «Горное дело» / В. Н. Попов, С. И. Чекалин. – Москва : Горная книга, 2012. – 722 с.

3. Корецкая, Г. А. Спутниковые навигационные системы в маркшейдерии : учеб. пособие / Г. А. Корецкая ; КузГТУ. – Кемерово, 2012. – 94 с.

<http://library.kuzstu.ru/metod.php?n=90854&type=utchposob:common>

Дополнительная литература

4. Маркшейдерская энциклопедия / гл. ред. Л. А. Пучков. – Москва: Изд-во «Мир горной книги», 2006. – 605 с.

<http://www.biblioclub.ru/index.php?page=book&id=79276>

5. Поклад, Г. Г. Геодезия: учеб. пособие для вузов / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. – Москва: Академический проспект, 2008. – 592 с.

6. Сборник таблиц для геодезических вычислений. – Москва: Редакционно-издательский отдел ВТС, 1953. – 220 с.

7. Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 1 / К. М. Антонович. – Москва: ФГУП «Картоцентр», 2005. – 344 с.

8. Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 2 / К. М. Антонович. – Москва: ФГУП «Картоцентр», 2006. – 360 с.

9. Генике, А. А. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и её применение в геодезии / А. А. Генике [и др.]. – Москва: Картгеоцентр, 1999. – 272 с.

10. Куприянов, А. О. Глобальные навигационные спутниковые системы: учебное пособие. – Москва: МИИГАиК, 2017. – 76 с.

11. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / под ред. В. Н. Харисова [и др.]. – Москва: ИПРЖР, 1998. – 400 с.

Нормативные документы

12. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. – Москва: ЦНИИГАиК, 2003. – 124 с.

13. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС И GPS. – Москва: ЦНИИГАиК, 2002. – 73 с.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

14. <http://www.geoprofi.ru> – Электронный журнал по геодезии, картографии и навигации.

15. <http://www.2gis.ru> – Электронная карта города «Дубль-ГИС».

16. <http://ru.wikipedia.org> – Свободная энциклопедия.

17. <http://www.navgeocom.ru> – Компания по продаже геодезического оборудования Навгеоком.

18. <http://www.laserpribor.ru/> – Интернет-магазин по продаже геодезического оборудования.

19. Современные геодезические технологии: WWW/prin.ru.

20. Геодезическое оборудование: www.rusgeocom.ru/.

21. <https://www.glonass-iac.ru/> – WEB-сайт информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения (ИАЦ КВНО) ФГУП ЦНИИМАШ.

22. <https://www.iss-reshetnev.ru/> – WEB-сайт АО «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ» имени академика М.Ф. Решетнёва».