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 лабораторным работам

Рекомендованы 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 лабораторным работам [Электронный ресурс] для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело, специализации Маркшейдерское дело, всех форм обучения / сост. Г. А. Корецкая; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Электрон. дан. – Кемерово, 2020. – Текст : электронный.

Составлены с целью оказания методической помощи в выполнении лабораторных работ для студентов очного и заочного обучения. Приведены индивидуальные задания, 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

Методические указания по дисциплине «Спутниковые навигационные системы» составлены на основании требований ФГОС для специальности 21.05.04 Горное дело, специализации Маркшейдерское дело и имеют цель оказания методической помощи студентам при выполнении 8-ми лабораторных работ. В соответствии с программой дисциплины студенты-заочники выполняют лабораторные работы № 3 и № 5.

Лабораторные работы № 1–2 поставлены для того, чтобы студенты научились решать задачи по переходу от координатной системы одной зоны к другой. Такая необходимость возникает при спутниковых наблюдениях дифференциальным методом для создания базы при использовании геодезических пунктов, принадлежащим разным зональным системам.

Лабораторная работа № 3 Переход от одной плоской системы координат к другой необходим, как при создании базы, так и при оценке точности спутниковых определений.

Лабораторная работа № 4 поставлена с целью закрепления знаний о редукционных переходах от измеренных линий, углов и азимутов на поверхности Земли к плоскости проекции Гаусса–Крюгера. Обратные переходы необходимы при эталонировании GPS-приёмников по непосредственно измеренным линиям.

В лабораторной работе № 5 студенты решают классическую задачу спутниковой геодезии (трилатерацию): по измеренным линиям и координатам трёх пунктов вычисляют координаты определяемого пункта. По результатам вычислений строится план вставки и выполняется оценка погрешности.

В лабораторной работе № 6 студенты выполняют переход от прямоугольной системы координат к геодезической и обратно, что необходимо на начальном этапе спутниковых измерений. Чем точнее определены исходные геодезические координаты, тем меньше времени затрачивает приёмник на выбор более благоприятной геометрии спутников.

Лабораторные работы № 7–8 знакомят студентов с комплектацией, инструкцией и техническими характеристиками спутниковой аппаратуры Leica SR20, применяемой для геодезических целей.

Лабораторная работа № 1

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

В геодезии и городском кадастре широкое применение находит система плоских прямоугольных координат проекции 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 [1].

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 измеренных 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.

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 82º; вторая часть предназначена для перевычисления координат через зону, в пределах широт от 70 до 82º. 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, $(a)_x$, $(b)_x \ldots$, b_0, $(a)_y$, $(b)_y \ldots$ – табличные величины;

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

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, $(a)_x$, $(b)_x \ldots$, $(a)_y$, $(b)_y \ldots$, 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 [6, с. 64].

Исходные данные по вариантам приведены в прил. 1. Фрагмент с табличными значениями для координат x_0 = 5900–6300 км и $y_0 = \mp 200$ 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).

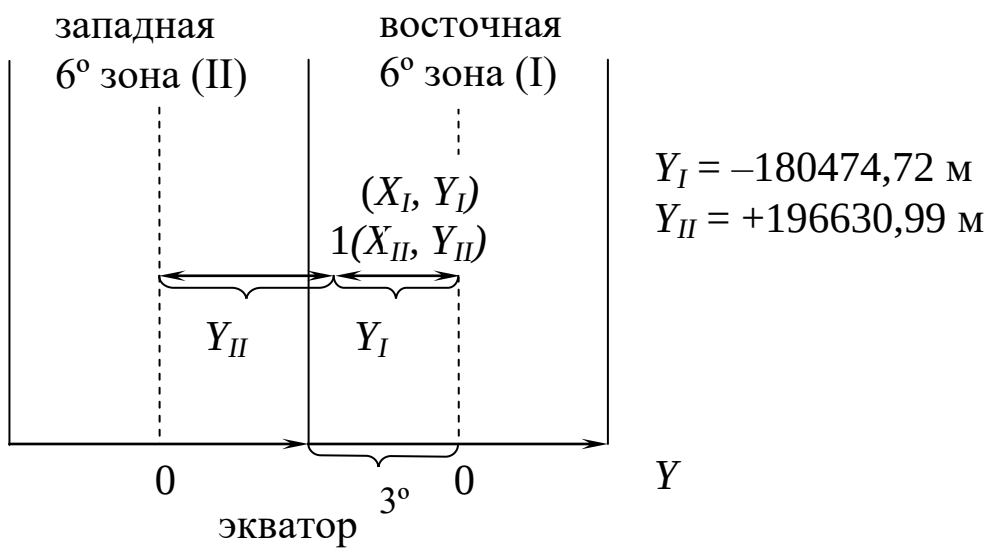


Рис. 1

ВЕДОМОСТЬ № 1

Перевычисление координат из восточной 6º зоны в западную 6º 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 6º зоны в западную 6º 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 82º)

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

Лабораторная работа №2

Перевычисление прямоугольных координат из шестиградусной зоны в трёхградусную зону и обратно

Перевычисление прямоугольных координат из шестиградусной зоны в трёхградусную зону и обратно (в пределах широт от 33º30' до 76º30') выполняют по таблицам и расчётным формулам [2, с. 60]. Точность преобразования составляет 1–2 м.

Расчётные формулы

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

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

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

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

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, ΔX_0, ΔY_0, Δa, Δb – разности табличных значений, δY_0, δx – поправки, $X_{\text{табл.}}$ – ближайшее меньшее табличное значение X.

Знаки в формулах даны для преобразования в восточную 6°–зону. При вычислении координат в западную зону знак в действии № 2 (прямого перехода) меняется на обратный (стр. 12).

В методических указаниях приведены фрагменты таблиц [2, 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 ΔX_0, ΔY_0, Δa, Δb 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. Порядок действий при вычислениях указан в ведомости № 3.

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	

Таблица 4

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:

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

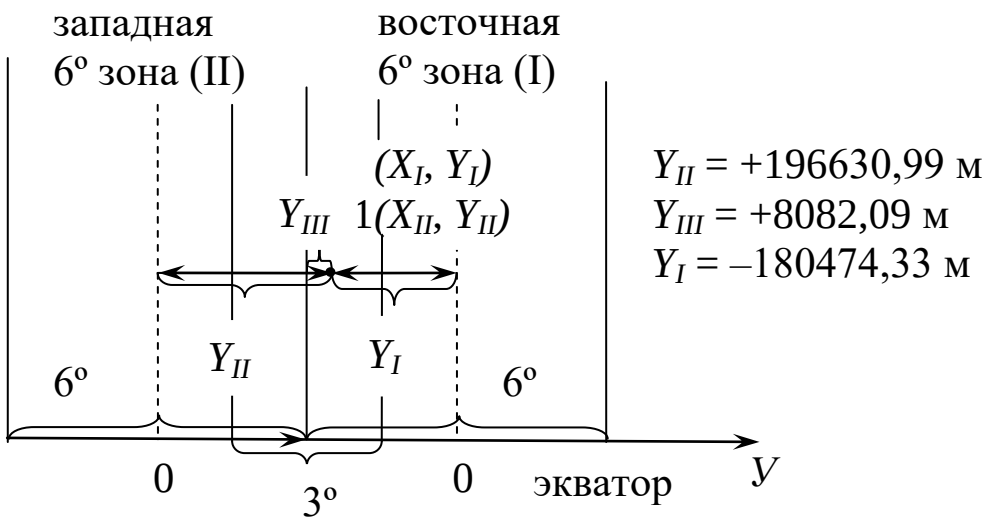


Рис. 2

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	$m = (x_1 - X_{табл.})\cdot 10^{-5}$	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 $Y_1 \rightarrow Y_{II} \rightarrow Y_{III} \rightarrow Y_I$.
–180474,72 м → +196630,99 м → +8082,09 м → –180474,33 м.

Точность перевычислений составляет 0,39 м.

Лабораторная работа № 3

ПЕРЕВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПУНКТОВ ИЗ ОДНОЙ ПЛОСКОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ В ДРУГУЮ

Эту задачу решают при проектировании геодезических сетей для их определения спутниковым методом (рис. 3).

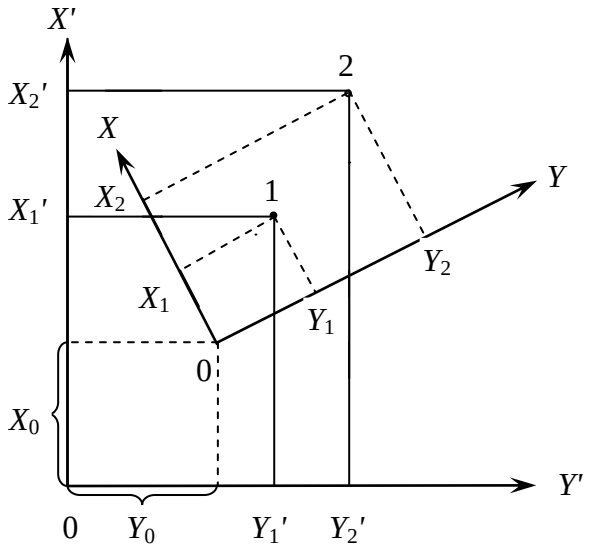


Рис. 3

ДАНО: X_1, Y_1 – координаты точки 1 в одной системе (WGS–84);
X_1', Y_1' – координаты точки 1 в другой системе (СК–42);
X_2, Y_2 – координаты точки 2 в системе WGS–84;
X_2', Y_2' – координаты точки 2 в системе СК–42.

НАЙТИ: $\delta\alpha$ – угол разворота осей;
M – масштаб искажения;
X_0, Y_0 – смещение осей.

Исходные данные по вариантам выбираем из прил. 2.

Последовательность вычислений

1. Решая обратные геодезические задачи, по координатам точек 1 и 2 вычисляют дирекционные углы α_{1-2}, α_{1-2}' и горизонтальные проложения S_{1-2}, S_{1-2}'.

Формулы для решения обратной геодезической задачи:

$$S_{1-2} = \sqrt{\Delta x_{1-2}^2 + \Delta y_{1-2}^2}\ ;$$

$$tg\alpha_{1-2} = \frac{\Delta y_{1-2}}{\Delta x_{1-2}};\ \alpha_{1\text{-}2} = \text{arctg}\alpha_{1-2},$$

где $$\Delta x_{1-2} = X_2 - X_1;\ \Delta y_{1-2} = Y_2 - Y_1.$$

Для перехода от табличного угла к дирекционному необходимо учесть знаки приращений координат, зависящие от знаков тригонометрических функций (sin и cos).

2. Находят угол разворота осей δα:

$$\delta\alpha = \alpha_{1-2}' - \alpha_{1-2}.$$

3. Определяют величину смещения начала координат:

$$X_0 = X_1' - X_1;\ Y_0 = Y_1' - Y_1.$$

4. Вычисляют масштаб системы перехода:

$$M = 1 + (S_{1-2}' - S_{1-2}) / S_{1-2}.$$

5. Вычисляют координаты определяемых пунктов в новой системе:

$$X_i' = X_i + \delta x;\ Y_i' = Y_i + \delta y,$$

где $$\delta x = X_0 + (K_1 - 1)(X_i - X_1) - K_2(Y_i - Y_1);$$

$$\delta y = Y_0 + (K_1 - 1)(Y_i - Y_1) + K_2(X_i - X_1);$$

$$K_1 = M\cdot\cos\delta\alpha;\ K_2 = M\cdot\sin\delta\alpha.$$

6. Производят контроль вычислений, для чего осуществляют обратный переход (из новой в старую систему координат). Расхождение координат не должно превышать 1 см.

Пример перевычисления прямоугольных координат

Исходные данные

Пункты	Координаты пунктов, м				Координаты начала в другой системе координат
	В системе WGS–84		В системе СК–42		
	X	Y	X'	Y'	
A	9274,654	22158,421	6131551,602	446131,135	X_0 = 6122276,948 Y_0 = 423972,714
E	8712,765	22274,080	6130980,227	446182,701	
B	9295,655	22234,443			
C	8965,681	22507,075			

Вычисление масштабного множителя и углового разворота осей

Формулы	Вычисления	
	WGS–84	СК–42
$\Delta Y_{1\text{-}2}$	115,659	51,566
$\Delta X_{1\text{-}2}$	–561,889	–571,375
$\mathrm{tg}\alpha_{1\text{-}2}$	–0205839	–0,090249
$\alpha_{1\text{-}2}$	168º22'07"	174º50'35"
$\delta\alpha$	6º28'28"	
$S_{1\text{-}2}$	573,669	573,697
$(S_{1\text{-}2}' - S_{1\text{-}2})$	0,028	
$(S_{1\text{-}2}' - S_{1\text{-}2})/S_{1\text{-}2}$	0,00004881	
M	1,00004881	

Вычисление координат пунктов в новой системе координат

Формулы	Пункт B	Пункт C
X_i'	**6131563,897**	**6131205,268**
X_i	9295,655	8965,681
δx	6122268,242	6122239,587
X_0	6122276,948	6122276,948
$(K_1 - 1)\ (X_i - X_1)$	–0,132921	1,955583
$-K_2(Y_i - Y_1)$	–8,572659	–39,316143

Формулы	Пункт B	Пункт C
$(K_1 - 1)\ (Y_i - Y_1)$	–0,481166	–2,206736
$K_2(X_i - X_1)$	2,368188	–34,841495
Y_0	423972,714	423972,714
δy	423974,601	423935,666
Y_i	22234,443	22507,075
Y_i'	**446209,044**	**446442,741**

Для контроля вычислений осуществляют обратный переход из новой системы в старую.

Обратный переход из новой системы в старую систему

Пункты	Координаты пунктов, м				Координаты начала в другой системе координат
	в новой системе СК–42		в старой системе WGS–84		
	X	Y	X'	Y'	
B	6131563,897	446209,044	9295,655	22234,443	X_0 = –6122268,242
C	6131205,268	446442,741	8965,681	22507,075	Y_0 = –423974,601

Вычисление масштабного множителя и углового разворота осей

Формулы	Вычисления	
	СК–42	WGS–84
$\Delta Y_{1\text{-}2}$	233,697	272,632
$\Delta X_{1\text{-}2}$	–358,629	–329,974
$\mathrm{tg}\alpha_{1\text{-}2}$	–0,651639	–0,826223
$\alpha_{1\text{-}2}$	146º54'36"	140º26'09"
$\delta\alpha$	–6º28'27"	
$S_{1\text{-}2}$	428,053	428,032
$(S_{1\text{-}2}' - S_{1\text{-}2})$	–0,021	
$(S_{1\text{-}2}' - S_{1\text{-}2})/ S_{1\text{-}2}$	–0,00004906	
M	0,99995094	

Вычисление координат пунктов в старой системе координат

Формулы	Пункт А	Пункт Е
X_i'	**9274,655**	**8712,762**
X_i	6131551,602	6130980,227
δx	–6122276,947	–612267,462
X_0	–6122268,242	–6122268,242
$(K_1 - 1)\ (X_i - X_1)$	0,07900767	3,75066342
$-K_2(Y_i - Y_1)$	–8,784240	–2,970173
$(K_1 - 1)\ (Y_i - Y_1)$	0,500643	0,169280
$K_2(X_i - X_1)$	+1,386261	+65,80879
Y_0	–423974,601	–423974,601
δy	–423972,714	–423908,623
Y_i	446131,135	446182,701
Y_i'	**22158,421**	**22274,079**

Вывод: точность перевычислений координат составила для пункта А (1; 0) мм; для пункта В (0; 1) мм при допуске в 1 см.

Лабораторная работа № 4

Вычисление длины линии, приведённой на физическую поверхность Земли. Переход от дирекционного угла к азимуту заданной линии

Под редукционными задачами будем понимать вычисление поправок к измеренным элементам (горизонтальным направлениям, длинам линий, углам), которые необходимо вводить для перехода от пространственного положения элементов на физической поверхности Земли к условной уровенной поверхности, к поверхности квазигеоида, на референц-эллипсоид, на плоскость проекции Гаусса–Крюгера. Возможны и обратные переходы, когда с плоскости проекции переходят к линии, измеряемой на поверхности Земли. Такие вычисления необходимы при подготовке исходных данных для спутникового определения координат и их эталонирования, а также при контрольных измерениях линий светодальномером [3]. Рассмотрим последовательность решения редукционных задач для измеренных линий.

Вычисление длину линии, приведённой на физическую поверхность Земли (рис. 4)

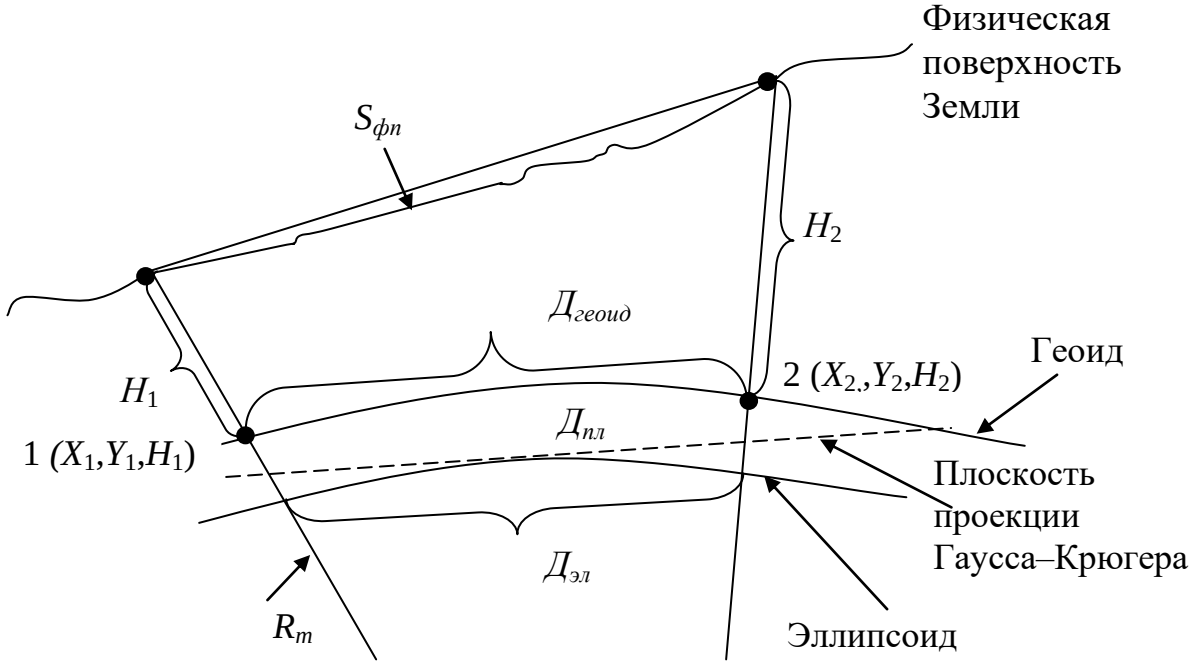


Рис. 4

Расчетные формулы

$$S_{фп} = Д_{пл} \pm \Delta Д_{эл} + \Delta Д_{геоид} + \Delta Д_h, \qquad (1)$$

где $S_{фп}$ – длина линии, приведённой на физическую поверхность Земли; $Д_{пл}$ – длина линии на плоскости Гаусса–Крюгера, определяемая из обратной геодезической задачи; $\Delta Д_{эл}$ – поправка за переход от плоскости к эллипсоиду; $\Delta Д_{геоид}$ – поправка за переход от эллипсоида к геоиду; $\Delta Д_h$ – поправка за переход от поверхности геоида к физической поверхности (поправка за наклон);

$$Д_{пл} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}\ ; \qquad (2)$$

$$\Delta Д_{эл} = \frac{Y_m^2}{2R_m^2} Д_{пл} + \frac{Y_m^4}{24R_m^4} Д_{пл} + \frac{\Delta Y_m^2}{24R_m^2} Д_{пл};\ Y_m = \frac{Y_1 + Y_2}{2}, \qquad (3)$$

где Y_1, Y_2 – прямоугольные координаты начала и конца линии; R_m – средний радиус Земли, который может быть вычислен:

$$R_m = \sqrt{MN}\,,$$

где M – радиус кривизны меридиана; N – радиус кривизны первого вертикала, принимают по средней широте B_m (B_m = 55º) [2].

$$\Delta Д_{геоид} = \frac{H_m}{R_m} Д_{пл} + \frac{H_m^2}{R_m^2} Д_{пл} + \frac{Д_{пл}^3}{24R_m^2}, \qquad (4)$$

где H_m – средняя отметка концов линии: $H_m = \frac{H_1 + H_2}{2}$.

$$\Delta Д_h = \frac{h^2}{2Д_{пл}} + \frac{h^4}{8Д_{пл}^3}, \qquad (5)$$

где h – превышение концов измеряемой линии: $h = H_2 - H_1$.

Вычисление второго и третьего членов в формуле (3) и (4) выполняют при длинах линий более 10 км и удалении точек от осевого меридиана зоны более 100 км. Знак у членов формулы (5) меняют на обратный при переходе от геоида к физической поверхности.

Пример вычислений при редуцировании линий

Исходными данными для решения этой задачи служат координаты пунктов, полученные в новой системе координат во второй лабораторной работе. Отметки пунктов H_1 и H_2 в прил. 1.

X_1 = 5331325,862 м Y_1 = – 42862,744 м H_1 = 148,00 м
X_2 = 5331545,137 м Y_2 = – 43337,500 м H_2 = 168,00 м

Порядок вычислений

1. Длина линии на плоскости была вычислена во второй лабораторной работе из обратной геодезической задачи:

$$Д_{пл} = 522{,}948 \text{ м}.$$

2. Y_m = (–42862,744 – 43337,500) : 2 = – 43100,122 (м);

$$\Delta Д_{эл} = -\frac{(-43100{,}122)^2}{2 \times (6371110)^2} \times 522{,}948 = -0{,}013 \text{ (м)}.$$

3. H_m = (148 + 168) : 2 = 158 (м),

$$\Delta Д_{геоид} = \frac{158}{6378000} \times 522{,}948 = 0{,}013 \text{ (м)}.$$

4. h = 168 – 148 = 20 (м), $\Delta Д_h = \dfrac{20^2}{2 \times 522{,}948} = 0{,}382$ (м).
5. $S_{фп}$ = 522,948 – 0,013 + 0,013 + 0,382 = **523,331 (м).**

Переход от дирекционного угла к азимуту линии (рис. 5)

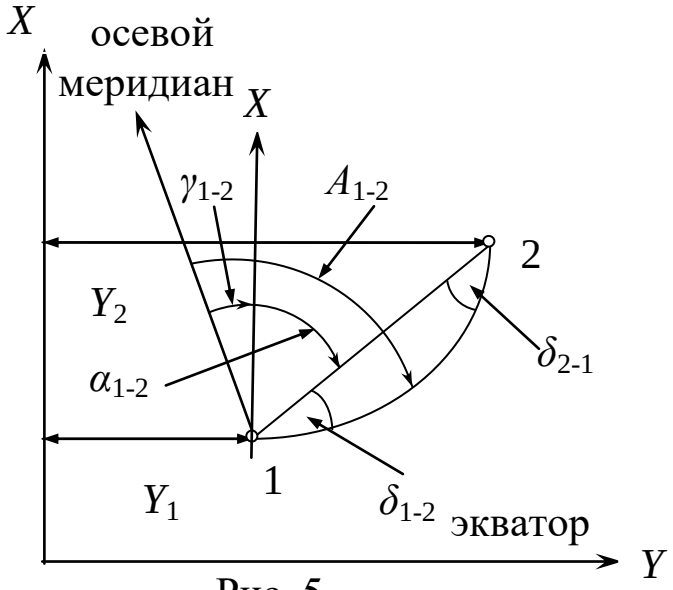


Рис. 5

Расчётные формулы

$$A_{1\text{-}2} = \alpha_{1\text{-}2} + \gamma_{1\text{-}2}' + \delta_{1\text{-}2}'' , \qquad (1)$$

где $A_{1–2}$ – азимут линии; $\alpha_{1–2}$ – дирекционный угол; $\gamma_{1–2}'$ – угол сближения меридианов на плоскости Гаусса–Крюгера в минутах; $\delta_{1–2}''$ – поправка за кривизну изображения линии на плоскости.

$$\gamma_{1\text{-}2}' = K \cdot Y_1 + \delta\gamma', \qquad (2)$$

где ордината Y_1 (км); K выбирают из таблицы [2, с. 11], по значению абсциссы X (км), фрагмент которой приведён в указаниях (табл. 5), или вычисляют по формуле

$$K = \frac{\rho' \times tgB}{N} 10^3,$$

где N – первый вертикал, ρ' – число минут в радиане; B – геодезическая широта; $\delta\gamma'$ – выбирают из таблиц [2, с. 10–15] по абсциссе X и ординате Y в километрах (фрагмент – таблица 6) или вычисляют по формуле

$$\delta\gamma' = \frac{\rho'(tgB + tgB^3 - tgB \times \eta^2)Y^3}{3N^3},$$

где $\eta^2 = \ell^2 \times \cos^2 B$.

Таблица 5

Коэффициент *К*

X, км	*К*	*X*, км	*К*	*X*, км	*К*	*X*, км	*К*	*X*, км	*К*
5300	0,5940	5900	0,7196	6000	0,7436	6100	0,7687	6200	0,7949
10	0,5959	10	0,7220	10	0,7461	10	0,7713	10	0,7976
20	0,5978	20	0,7243	20	0,7485	20	0,7738	20	0,8003
30	0,5997	30	0,7267	30	0,7510	30	0,7764	30	0,8030
40	0,6015	40	0,7291	40	0,7535	40	0,7790	40	0,8057
50	0.6034	50	0,7315	50	0,7560	50	0,7817	50	0,8085
60	0,6053	60	0,7339	60	0,7585	60	0,7843	60	0,8112
70	0,6073	70	0,7363	70	0,7611	70	0,7869	70	0,8140
80	0,6092	80	0,7387	80	0,7636	80	0,7896	80	0,8168
90	0,6111	90	0,7411	90	0,7661	90	0,7922	90	0,8196
6300	0,8224	6400	0,8511	6500	0,8814	6600	0,9132	6700	0,9468
10	0,8252	10	0,8541	10	0.8845	10	0,9165	10	0,9503
20	0,8280	20	0,8571	20	0,8876	20	0,9198	20	0,9537
30	0,8308	30	0,8601	30	0,8908	30	0,9231	30	0,9572
40	0,8337	40	0,8631	40	0,8939	40	0,9264	40	0,9608
50	0,8366	50	0,8661	50	0,8971	50	0,9298	50	0,9643
60	0,8395	60	0,8691	60	0,9003	60	0,9332	60	0,9678
70	0,8424	70	0,8722	70	0,9035	70	0,9366	70	0,9714
80	0,8453	80	0,8752	80	0,9067	80	0,9400	80	0,9750
90	0,8482	90	0,8783	90	0,9100	90	0,9434	90	0,9786

Таблица 6

Поправка $\delta\gamma'$ (всегда вычитается)

X \ Y	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
5200	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,11	0,14	0,18	0,22	0,26
5600	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,11	0,15	0,18	0,23	0,28	0,33
6000	0,02	0,03	0,05	0,07	0,10	0,14	0,19	0,24	0,29	0,34	0,39
X \ Y	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	
6000		0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,10	0,14	0,19	0,24	0,29
200		0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,12	0,17	0,23	0,29	0,36
400	0,01	0,01	0,02	0,04	0,07	0,10	0,14	0,19	0,27	0,36	0,42
600	0,01	0,01	0,03	0,05	0,08	0,12	0,17	0,23	0,30	0,38	0,44
800	0,01	0,02	0,03	0,06	0,10	0,14	0,20	0,28	0,36	0,44	0,50
7000	0,01	0,02	0,04	0,07	0,12	0,17	0,25	0,33	0,41	0,49	0,57
200	0,01	0,03	0,05	0,09	0,14	0,21	0,30	0,39	0,48	0,57	0,65
400	0,01	0,03	0,06	0,11	0,18	0,27	0,38	0,47	0,56	0,65	0,70
600	0,02	0,04	0,08	0,14	0,23	0,34	0,43	0,52	0,61	0,70	0,75

$$\delta_{1-2}'' = \frac{1}{3} f\,(X_1 - X_2)\,(2Y_1 + Y_2), \qquad (3)$$

где $\frac{1}{3}f$ – выбирают по значению геодезической широты B из таблиц [2, с. 7], фрагмент которой для средних широт приведён в табл. 7, или вычисляют по формуле

$$f = \frac{\rho''}{2R_m^2} 10^6.$$

Таблица 7

Величины f и $\frac{1}{3}f$

B, градус.	f	$\frac{1}{3}f$	B, градус	f	$\frac{1}{3}f$
45	0,002535	0,0008450	55	0,002529	0,0008431
46	0,002535	0,0008448	56	0,002529	0,0008429
47	0,002534	0,0008446	57	0,002528	0,0008427
48	0,002533	0,0008444	58	0,002528	0,0008426
49	0,002533	0,0008442	59	0,002527	0,0008424
50	0,002532	0,0008441	60	0,002527	0,0008422
51	0,002532	0,0008439	61	0,002526	0,0008420
52	0,002531	0,0008437	62	0,002526	0,0008419
53	0,002530	0,0008435	63	0,002525	0,0008417
54	0,002530	0,0008433	64	0,002525	0,0008415

Порядок вычислений при переходе от дирекционного угла к азимуту заданной линии

1. Значение дирекционного угла α_{1-2} было получено в лабораторной работе № 2: α_{1-2} = 114º47'26,28"; Y_1 = –42862,744 м.

2. K = 0,5999; $\delta\gamma'$ = 0,00;

γ_{1-2}' = 0,5999×(–42,862744) + 0,00 = –25,713′;

(γ_{1-2}' = –0º25'42,80").

3. f = 0,002534; $\frac{1}{3}f$ = 0,0008446 (для B = 47º).

δ_{1-2}'' = 0,0008446 × (5331,325862 – 5331,545137) ×
× [2(–42, 862744) – 43,337500] = –0,024″.

4. A_{1-2} = 114º47'26,28" – 0º25'42,80" – 0,02″ = 114º21'43,46".

Лабораторная работа № 5

Определение координат пункта по трём измеренным расстояниям с трёх известных пунктов

Трилатерацию применяют при реконструкции городских сетей и решении задач межевания, для создания обоснования кадастровых съёмок и решения геодезических задач в строительстве с применением GPS-приёмников. Наиболее распространённой фигурой трилатерации является линейная засечка (рис. 6). При этом линии измеряют светодальномерами, электронными тахеометрами или спутниковыми приёмниками, для редуцирования сторон наблюдают зенитные расстояния [4].

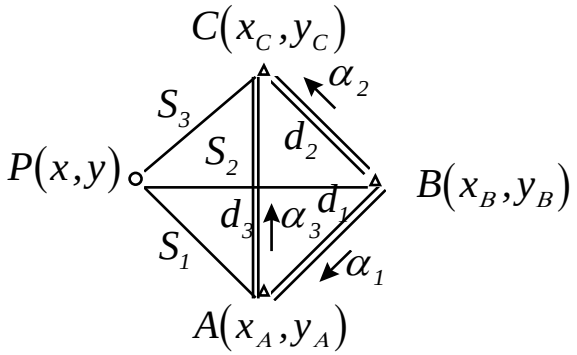


Рис. 6

Рабочие формулы

$$\rho_1 = \frac{\frac{1}{2}\left(d_1^2 + S_2^2 - S_1^2\right)}{d_1},$$

$$\rho_2 = \frac{\frac{1}{2}\left(d_2^2 + S_2^2 - S_3^2\right)}{d_2},$$

$$\rho_3 = \frac{\frac{1}{2}\left(d_2^2 - d_1^2 + S_1^2 - S_3^2\right)}{d_3}.$$

$$[aa] = \cos^2\alpha_1 + \cos^2\alpha_2 + \cos^2\alpha_3;$$

$$[bb] = \sin^2\alpha_1 + \sin^2\alpha_2 + \sin^2\alpha_3;$$

$$[ab] = \sin\alpha_1\cos\alpha_1 + \sin\alpha_2\cos\alpha_2 + \sin\alpha_3\cos\alpha_3;$$

$$[a\rho] = \rho_1\cos\alpha_1 + \rho_2\cos\alpha_2 + \rho_3\cos\alpha_3;$$

$$[b\rho] = \rho_1\sin\alpha_1 + \rho_2\sin\alpha_2 + \rho_3\sin\alpha_3.$$

$$x_P - x_B = \frac{[bb][a\rho] - [ab][b\rho]}{[aa][bb] - [ab]^2}$$

$$y_P - y_B = \frac{[aa][b\rho] - [ab][a\rho]}{[aa][bb] - [ab]^2}$$

Погрешность определяемого пункта:

$$M_P = m_S K \sqrt{\left(\frac{S_1}{h_A}\right)^2 + \left(\frac{S_2}{h_B}\right)^2 + \left(\frac{S_3}{h_C}\right)^2},$$

где m_S – средняя квадратическая погрешность измерения расстояния спутниковым приёмником или светодальномером.

$$K = \frac{\sqrt{\sin^4\delta_1 + \sin^4\delta_2 + \sin^4\delta_3}}{\sin^2\delta_1 + \sin^2\delta_2 + \sin^2\delta_3};$$

$$h_A = d_3 \sin\delta_3; \quad h_B = d_2 \sin\delta_3; \quad h_C = d_3 \sin\delta_1.$$

Пример решения задачи трилатерации

	Значения		Значения		Значения
1	2	3	4	5	6
x_A	71134,30	x_C	72179,24	x_C	72179,24
x_B	71597,76	x_B	71597,76	x_A	71134,30
$x_A - x_B$	–463,46	$x_C - x_B$	+581,48	$x_C - x_A$	+1044,94
y_A y_B	86764,34 86885,26	y_C y_B	86591,89 86885,26	y_C y_A	86591,89 86764,34
$y_A - y_B$	–120,92	$y_C - y_B$	–293,37	$y_C - y_A$	–172,45
$\alpha_1(BA)$ $d_1(BA)$ S_1	194°37'24,1" 478,98 547,33	$\alpha_2(BC)$ $d_2(BC)$ S_2	333°12'07,5" 651,44 690,91	$\alpha_3(AC)$ $d_3(AC)$ S_3	350°36'41,4" 1059,12 920,73

Вычисление уравненных координат

Коэффициенты при неизвестных				Свободные члены уравнений	
x		y			
$\cos\alpha_1$ $\cos\alpha_2$ $\cos\alpha_3$	–0,967606 +0,892602 +0,986605	$\sin\alpha_1$ $\sin\alpha_2$ $\sin\alpha_3$	–0,252464 –0,450345 –0,163130	ρ_1 ρ_2 ρ_3	+425,07 +41,44 –166,74
$[aa]$ $[ab]$	+2,706389 –0,319084	$[ab]$ $[bb]$	–0,319084 +0,293611	$[a\rho]$ $[b\rho]$	–538,82 –98,80
x_P-x_B x_B	–273,85 71597,76	y_P-y_B y_B	–634,10 86885,26	x_P y_P	**71323,91** **86251,16**

Вычисление погрешности определяемого пункта *P*

Внутренние углы треугольника *ABC:*

$$\delta_1 = 360^\circ00'00'' - \alpha(AC) + \alpha(AB) = 180^\circ00'00'' - \alpha(AC) + \alpha(BA) =$$
$$= 180^\circ00'00'' - 350^\circ36'41{,}4'' + 194^\circ37'24{,}1'' = 24^\circ00'43{,}7'';$$
$$\delta_2 = \alpha(BC) - \alpha(BA) = 333^\circ12'07{,}5'' - 194^\circ37'24{,}1'' = 138^\circ34'43{,}4'';$$
$$\delta_3 = \alpha(CA) - \alpha(CB) = \alpha(AC) - \alpha(BC) = 17^\circ24'33{,}9''.$$

№	δ_i	$\sin\delta_i$	$\sin^2\delta_i$	$\sin^4\delta_i$	$h_{(A,B,C)}$	S_i	$(S_i/h_i)^2$
1	24º01'	0,4069	0,1655	0,0274	316,88	547,33	2,983
2	138º35'	0,6616	0,4377	0,1916	194,70	690,91	12,593
3	17º24'	0,2980	0,0893	0,0080	430,95	920,73	4,565
∑			0,6925	0,2270			20,141

$$K = \frac{\sqrt{0{,}2270}}{0{,}6925} = 0{,}688;$$

$$M_P = 0{,}01 \times 0{,}688 \times \sqrt{20{,}141} = 0{,}033 \text{ (м)}.$$

$$\frac{M_P}{S_{cp}} \le \frac{1}{T}, \left(\frac{M_P}{S_{cp}} = \frac{0{,}033}{719{,}66} = \frac{1}{21808}\right), \frac{1}{T} \le \frac{1}{10000} \text{ (для 2 разряда).}$$

Выполнить графически контроль решения задачи трилатрации по чертежу масштаба 1: 5000 (схема вставки пункта на рис. 7).

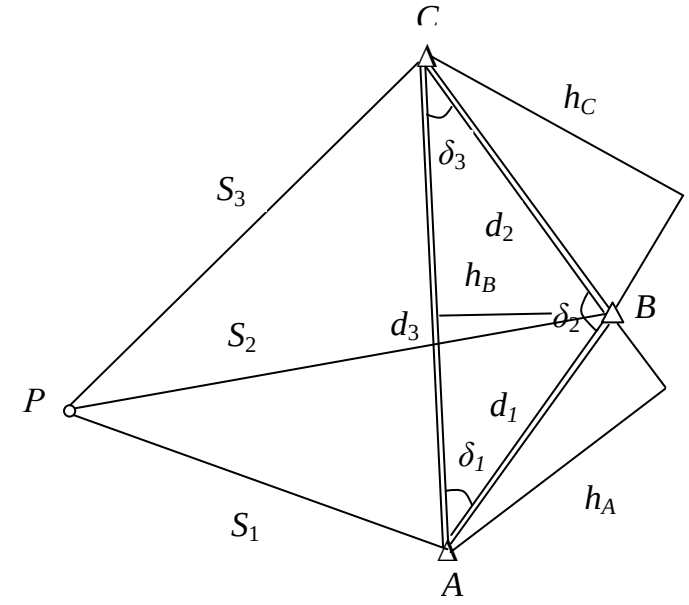


Рис. 7

Лабораторная работа № 6

Перевычисление прямоугольных координат в геодезические и геодезических координат в прямоугольные (для широт от 0 до 80°)

На начальном этапе спутниковых измерений необходимо знать геодезические координаты (широту B и долготу L) исходного пункта, для которого известны прямоугольные координаты. Поэтому возникает задача перевычисления (преобразования) прямоугольных координат в геодезические и обратно. Эту задачу решают по таблицам и расчётным формулам [2, с. 41]. В таблицах помещены основные величины, их изменение и поправочные члены.

Точность преобразования прямоугольных координат в геодезические составляет $\pm 0'',01$, и геодезических в прямоугольные $\pm 0{,}1$ м.

Расчётные формулы

для перевычисления прямоугольных координат в геодезические:

$$B = B_f - (B_f - B),\ \ L = L_0 + l\,, \tag{1}$$

$$(B_f - B)'' = (A_2 q + \Delta A_1 m' + A_1)\cdot q\,, \tag{2}$$

$$l'' = \frac{y}{(\Delta B_2 m' + B_2)\cdot q + \Delta b_1 m' + b_1 + \delta b_1} + \delta l\,, \tag{3}$$

$$B_f = B_{табл.} + \frac{x - X}{\Delta X}\,, \tag{4}$$

для перевычисления геодезических координат в прямоугольные:

$$x = (a_2 p + \Delta a_1 m + a_1)\cdot p + \Delta X \cdot m + X\,, \tag{5}$$

$$y = [(\Delta b_2 m + b_2) \cdot p + \Delta b_1 m + b_1 + \delta b_1] \cdot l'' + \delta y, \qquad (6)$$

где X, a_1, a_2, b_1, b_2, B_2, A_1, A_2 – основные величины, ΔX, Δa_1, Δb_1, Δa_2, ΔB_2, ΔA_1 ΔB_2 – изменения основных величин, δb_1, δy, δl – поправки,

$$p = (l'')^2 \cdot 10^{-8},$$

$$q = y^2 \cdot 10^{-10},$$

$$m = (B - B_{табл.})'',$$

$$m' = \frac{x - X}{\Delta X} = (B_f - B_{табл.})''.$$

$l = L - L_0$ – долгота от среднего меридиана зоны (L_0) в секундах.

Порядок вычислений

Значения основных величин и их изменений выбираются из таблиц по ближайшему меньшему табличному значению широты без интерполирования. Значения поправок выбираются из табличек также без интерполирования: δb_1 по m и m' (т. е. по разности данного и табличного значений широт), а δy и δl по l''.

Значения коэффициентов вычисляются: p до 0,00001, q до 0,0001, m и m' до 0,001.

Порядок действий при вычислениях указан в примерах. Для большей наглядности в примерах записаны все промежуточные результаты. Исходные данные по вариантам (координаты пункта X, Y и номер зоны n) приведены в прил. 1.

Пример преобразования прямоугольных координат в геодезические

Исходные данные: прямоугольные координаты пункта Ивановка x = 5 951 513,4; y = –188 089,5; номер зоны n = 6.

Вычисляем условную ординату пункта:

–188 089,5 + 500 000 = 311 910,5; с учётом номера зоны имеем:

$$y_{условный} = 6\ 311\ 910{,}5.$$

Долгота осевого меридиана: $L_0 = 6°n - 3° = 6 \cdot 6 - 3 = 33°$.

По значению координаты x = 5 951 513,4 находим ближайшее меньшее табличное значение X= 5 948 919,76, для которого табличное значение геодезической широты составляет $B_{табл}$ = 53°40' [2, с. 54]. Перевычисление прямоугольных координат в геодезические и обратно в ведомостях № 11 и № 12.

ВЕДОМОСТЬ №11

Перевычисление прямоугольных координат в геодезические

№ шага	Расчётны формулы	п. Ивановка
1	X	**5 951 513,4**
2	$y_{условный}$	6 311 910,5
3	y	**–188 089,5**
4	$q=y^2\ 10^{-10}$	3,5378
8	$m'=(x–X):\Delta X$	+83,"890
10	$A_2 \cdot q$	–0,0263
11	$\Delta A_1 \cdot m'$	+0,0294
12	A_1	+34,4000
13	$A_2 \cdot q + \Delta A_1 \cdot m' + A_1$	+34,4031
5	x	5 951 513,4
6	X	5 948 919,76
7	$x–X$	+2 593,64
9	$B_f = B_{табл} + m''$	53°41'23,"890
14	$–(B_f – B)$	–2 01,711
15	B	**53°39'22,"18**
16	$\Delta B_2 \cdot m'$	+0,000 0028
17	B_2	+0,003 5199
18	$\Delta B_2 \cdot m' + B_2$	+0,003 5227
19	$(\Delta B_2 \cdot m' + B_2)q$	+0,012 463
20	$\Delta b_1 \cdot m'$	–0,010 141
21	b_1	+18,361 006
22	δb_1	+0,000 009
23	$(\Delta B_2 \cdot m' + B_2)q + \Delta b_1 \cdot m' + b_1 + \delta b_1$	+18,363 337
24	$y:[(\Delta B_2 \cdot m' + B_2)q + \Delta b_1 \cdot m' + b_1 + \delta b_1]$	–10 242,665
25	δl	–0,004
26	l''	–10 242,"67
27	l	–2°50'42,"67
28	L_0	33°
29	$L_1 = l + L_0$	**30°09'17,"33**

ВЕДОМОСТЬ № 12

Перевычисление геодезических координат в прямоугольные

№ шага	Расчётные формулы	п. Ивановка
1	B	**53°39'22,"18**
2	L	**30°09'17,"33**
3	L_0	33°
4	$l=L-L_0$	–2°50'42,"67
5	l''	–10 242,"67
6	$p=(l'')^2\cdot 10^{-8}$	1,049 12
7	$m=(B-B_{табл.})''$	562,180
8	$a_2\cdot p$	+0,83
9	$\Delta a_1\cdot m$	–6,02
10	a_1	+3 591,94
11	$a_2\cdot p+\Delta a_1\cdot m+a_1$	+3 586,75
12	$(a_2\cdot p+\Delta a_1\cdot m+a_1)p$	+3 762,93
13	$\Delta X\cdot m$	17 380,58
14	X	5 930 369,91
15	x	**5 951 513,4**
16	$\Delta b_2\cdot m$	–0,000 028
17	b_2	–0,002 105
18	$\Delta b_2\cdot m+b_2$	–0,002 133
19	$(\Delta b_2\cdot m+b_2)p$	–0,002 238
20	$\Delta b_1\cdot m$	–0,067 810
21	b_1	+18,433 377
22	δb_1	+0,000 004
23	$(\Delta b_2\cdot m+b_2)+\Delta b_1\cdot m+b_1+\delta b_1$	+18,363 333
24	$[(\Delta b_2\cdot m+b_2)p+\Delta b_1\cdot m+b_1+\delta b_1]\,l''$	–188 089,56
25	δy	+0,03
26	y	**–188 089,5**
27	$y_{условный}$	6 311 910,5

Лабораторная работа №7

Знакомство с комплектацией и техническими характеристиками спутниковой аппаратуры, применяемой для геодезических целей

1. Изучить структуру радиосигналов системы GPS

Принцип определения месторасположения с помощью глобальной навигационной спутниковой системы предусматривает измерение расстояний (дальностей) между искусственными спутниками Земли и фазовым центром антенны приемника спутниковых сигналов, установленного на определяемой точке местности.

С целью реализации данного принципа каждый навигационный искусственный спутник Земли (НИСЗ) излучает радиосигналы, структура которых для системы GPS показана на рис. 7.1.

Рис. 7.1. Радиосигналы системы GPS

Одновременно в радиолинии частотного диапазона L_1 спутники системы GPS излучают кодовые последовательности стандартной (P-код) и высокой (C/A-код) точности. Также излучается несущий электромагнитный сигнал частотой L_2.

При необходимости сигнал C/A-код может быть отключен. В системе GPS все спутники работают на одних и тех же частотах, но каждый имеет свой код.

В системе ГЛОНАСС каждый спутник работает на собственной частоте. Разделение сигналов частотное. Так же, как и в GPS, несущие сигналы обозначают как L_1 и L_2, а P-коду соответ-

ствует ВТ-код (код высокой точности) и СТ-код (код стандартной точности). Одновременно с измерительными сигналами с искусственного спутника Земли передается хранящаяся на нем, так называемая, оперативная и неоперативная информация, сформированная в виде кадра навигационного сообщения.

Оперативная информация содержит: эфемериды ИСЗ (три пространственные прямоугольные координаты *X*, *Y*, *Z*, три составляющих скорости ИСЗ и три составляющих ускорения); метку времени; сдвиг шкалы времени НИСЗ относительно шкалы времени всей системы и другие сведения.

Неоперативную информацию образует альманах системы, содержащий параметры орбит всех спутников системы и другие сведения. Полный кадр (суперкадр) системы ГЛОНАСС и GPS передается в течение 10–12 мин.

2. Изучить структурную схему приёмника спутникового сигнала

Основные задачи, решаемые приемной аппаратурой, относящейся к сектору потребителей, прием и первичная обработка сигналов ИСЗ. Обработку сигналов выполняют с целью выработки необходимой потребителям информации (пространственно-временных координат, направления и скорости, пространственной ориентации и т. д.). Упрощённая структурная схема приёмной аппаратуры спутникового сигнала приведена на рис. 7.2.

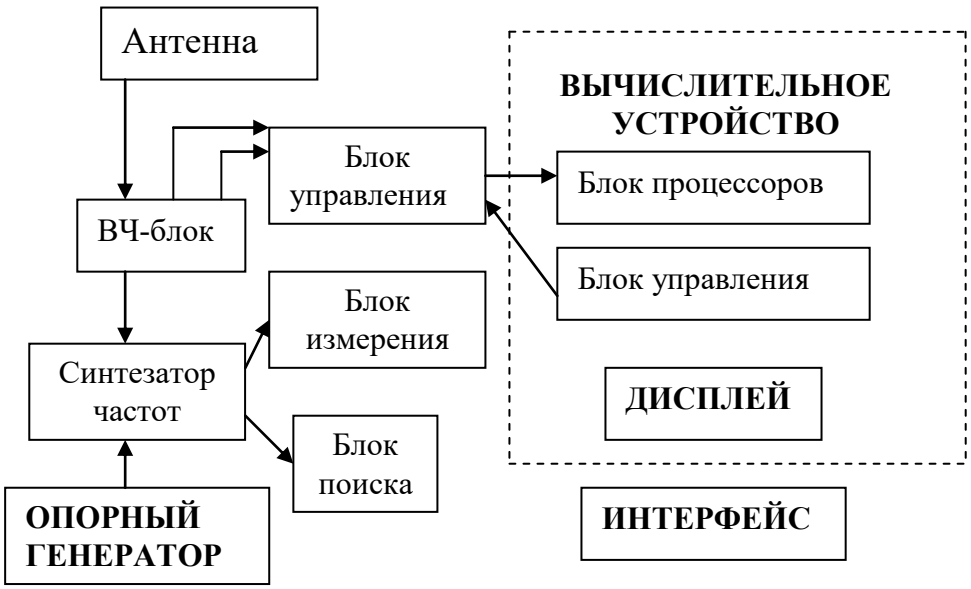


Рис. 7.2. Структурная схема приемника спутниковых навигационных систем

Приемное устройство выполняет функции супергетеродинного приемника, а также первичную обработку сигналов. Соответствующие сигналы поступают в блок поиска и измерения. После завершения поиска происходит захват сигнала, который поступает в вычислительный блок. По указаниям наблюдателя результаты обработки могут быть отражены на дисплее.

Супергетеродинный радиоприёмник (супергетеродин) – один из типов радиоприёмников, основанный на принципе преобразования принимаемого сигнала в сигнал фиксированной *промежуточной частоты* (ПЧ) с последующим её усилением. Основное преимущество супергетеродина перед радиоприёмником прямого усиления в том, что наиболее критичные для качества приёма части приёмного демодулятора не должны перестраиваться под разные частоты, что позволяет выполнить их со значительно лучшими характеристиками.

Обычно выделяют три модификации приемников. *Приемники первого класса* предназначены для быстрых навигационных определений координат. Такие приемники удобно использовать при рекогносцировке, выносе в натуру и съемке объектов с небольшой точностью. *Приемники второго класса* предназначены для определения положения движущихся объектов. *Приемники третьего класса*, как правило, относятся к приемникам геодезического назначения. В них имеется многоканальный блок, осу-

ществляющий слежение одновременно за сигналами нескольких ИСЗ (до 12 и более). Внутренняя память до 100 Мб и более. Приемники оснащены портами для интеграции с другой аппаратурой, в том числе ПЭВМ. Значительный практический интерес представляют собой совмещенные GPS/ГЛОНАСС приемники.

В общем случае приемники геодезического назначения выполняют следующие функции:

– генерация местной шкалы времени;

– поиск, усиление и разделение сигналов различных ИСЗ;

– фильтрация сигналов;

– выделение из сигналов времени и псевдослучайных последовательностей;

– слежение за частотой, фазой, кодовыми сигналами, измерение псевдодальностей до каждого НИСЗ;

– выполнение различных оперативных расчетов; выдача в форме индикации на дисплее контроллера соответствующей информации об установочных указаниях и параметрах, результаты измерений, например в форме геодезических координат, о наличии и состоянии участвующих в радиосеансе НИСЗ и др.;

– прием поправок (при помощи специального радиоканала) в псевдодальности от внешнего передающего устройства;

– передачу результатов спутниковых наблюдений на другие радиоприемные устройства (на телефоны сотовой связи);

– хранение принятой информации.

Структурная схема приемника спутниковых навигационных систем и принципы обработки сигналов во многом идентичны для GPS и ГЛОНАСС. При всем разнообразии конструкций приемников, как правило, цифровой приемник СНС обеспечивает:

– прием радиосигнала и его преобразование в цифровой;

– синхронизацию по несущей частоте и временной шкале;

– измерение задержек распространения сигнала и доплеровского сдвига несущей частоты;

– формирование навигационного решения.

3. Изучить комплектацию спутникового оборудования для геодезических целей

Спутниковое оборудование для геодезических целей выпускают более 50-ти производителей различных стран мира, основными из которых являются фирмы: «Trimble» (США), «Leica» (Швейцария), «ProMark» (Япония), «Sokkia» (Япония), «Geotonics» (Швеция), «Sersel» (Франция), «ГЕО» (Россия) и др.

Первые образцы приемной аппаратуры спутниковых навигационных систем создавались в одноканальном исполнении, весили десятки килограммов и стоили десятки тысяч долларов. Сегодня многоканальные портативные приемники весят десятки граммов, что позволяет интегрировать их в мобильные сотовые телефоны, карманные персональные компьютеры (КПК), наручные часы и даже в микродатчики, которые помогают орнитологам отслеживать миграцию птиц.

Конструктивно приемники, как правило, выполнены в виде отдельных или совмещенных блоков, которые содержат антенное устройство, контроллер (мини-ЭВМ с клавиатурой) и аккумуляторы. С помощью контроллера (встроенного или присоединяемого к приемнику), пользователь может управлять и контролировать процесс спутниковых наблюдений. Часто приемники имеют встроенный радиомодем, с помощью которого в реальном масштабе времени можно передать или принять по каналам связи необходимую информацию. К ней относятся, например, результаты измерений, выполненные на определяемой точке, а также результаты соответствующих расчетов по этим измерениям, выполненным в специальном центре.

4. Дать название пронумерованным деталям спутниковой системы на рис. 7.3

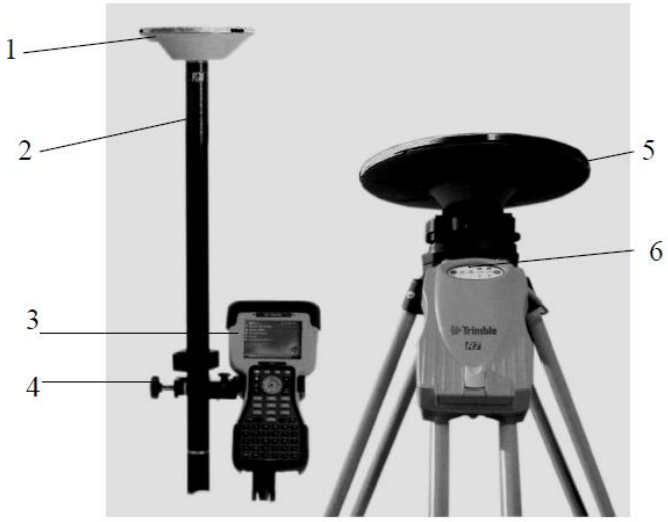


Рис. 7.3. Комплект спутникового оборудования для геодезических целей

Выбор конкретного типа приемника спутниковых сигналов для проведения земельно-кадастровых геодезических работ зависит от необходимой точности определения положения объектов. Например, при создании и развитии опорной межевой сети первого класса (ОМС1) спутниковые приемники, помимо кодовых сигналов, должны принимать сигналы навигационных искусственных спутников земли на частотах L1 и L2. При развитии сети второго класса (ОМС2), а также при межевании земельных участков разрешается использование одночастотных приемников, работающих, помимо кодовых сигналов, только на частоте L1.

Лабораторная работа №8

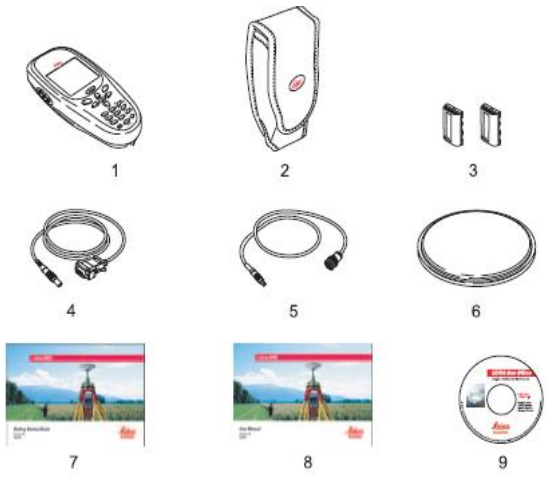
Изучение комплекта аппаратуры и инструкции по работе со спутниковым приёмником Leica SR20 Подготовка к работе и первоначальный запуск

1. Описание комплекта аппаратуры

Производители спутниковой аппаратуры предлагают разнообразные модели приемников от недорогих ручных (персональных) GPS-навигаторов до высокоточных геодезических спутниковых приборов.

Признанным мировым лидером и новатором в области разработки и производства геодезических приборов, в том числе спутникового оборудования, является концерн Leica Geosystems (Швейцария). Им разработаны различные типы GPS-приборов: от высоко точных двухчастотных приемников серии 1200 до одночастотных компактных приёмников серии SR20 субметровой точности (от 30 сантиметров и более) и с ГИС-возможностями.

Стандартный пакет системы SR20 состоит компонентов, представленных на рис. 8.1.



1 – Портативный GPS приемник SR20
2 – Мягкий чехол для SR20
3 – Батареи GEB90, литий-ионные, 7,2 В
4 – Кабель передачи данных, SR20 на RS232
5 – Кабель антенны SR20
6 – Антенна AT501
7 – Руководство по первоначальному запуску SR20
8 – Leica SR20. Руководство по эксплуатации
9 – Диск с программным обеспечением Leica Geo Office

Рис. 8.1. Компоненты системы SR20

По внешнему виду SR20 похож на персональный GPS-навигатор, но является универсальным приемником с мощным набором функций.

В небольшом корпусе находится 12-канальный фазовый (L1) приемник GPS, способный выполнять высокоточные геодезические измерения в режимах Статика и Кинематика «Stop and Go», определять и записывать координаты объектов с их атрибутами и описаниями, уточнять координаты в режиме реального времени, принимая дифференциальные поправки от наземных станций или спутников SBAS (Satellite Based Augmentation Systems) WAAS* и EGNOS**.

Может быть использован в качестве базовой GPS-станции, вырабатывая дифференциальные поправки в формате RTCM-104.

И, конечно, приемник SR20 можно использовать как навигатор, например, для идентификации объектов и поиска утерянных опорных пунктов.

***WAAS** (*Wide Area Augmentation System*) — американская глобальная система распространения дифференциальных поправок. Разработана в США для повышения точности позиционирования и достоверности данных навигационных GPS-систем. В первую очередь предназначена для применения в авиации. Сигнал WAAS содержит поправки к GPS сигналам, используя которые GPS-приёмник значительно улучшает точность позиционирования.

****EGNOS** (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) — европейская геостационарная служба навигационного

покрытия. EGNOS предназначена для улучшения работы систем GPS, ГЛОНАСС и Galileo на территории Европы и является аналогом американской системы WAAS. Зона действия EGNOS охватывает всю Европу, север Африки и небольшую европейскую часть России. Так же, как и WAAS, система состоит из сети наземных станций, главной станции, которая аккумулирует информацию от спутников GPS, ГЛОНАСС и Galileo, и геостационарных спутников EGNOS, через которые эта информация транслируется на GPS-приёмники, поддерживающие приём дифференцированных поправок.

2. Уровни точности и возможности одночастотного приемника SR20

SR20 обеспечивает три уровня точности, что позволяет характеризовать его как «три приемника в одном».

При работе в абсолютном режиме он обеспечивает точность определения местоположения 5–10 м.

В дифференциальном режиме при приеме поправок в реальном времени (DGPS) точность определения координат составляет 40 см, а после постобработки записанных в память кодовых измерений 30 см.

Точность определения координат после обработки данных, полученных при съемке с записью фазовых измерений в режиме Статика, составляет 10 мм ± 2 мм/км, в режиме Кинематика 20 мм ± 2 мм/км.

Технические характеристики приёмника SR20

Основные характеристики	Одночастотный приемник со встроенным контроллером; 12 каналов, L1 код/фаза несущей, поддержка SBAS
Память	карта памяти Compact Flash 1 Гб в комплекте
Питание	Литий-ионные аккумуляторы, 7,2 В, 2100 мА/ч с микропро-

	цессором (2 шт.)
Назначение	Развитие геодезических сетей с сантиметровой точностью (длина базовой линии не более 20 км);
Точность измерений в плане: статическая съемка	10 мм + 2 мм/км
Точность измерений по высоте: статическая съемка	20 мм + 2 мм/км
Ударопрочность	выдерживает падение с высоты 1,2 м
Влагозащищенность	до 95% без конденсации
Вес	0,652 кг
Диапазон рабочей температуры	от –20 до +55 °С
Точность измерений в плане: диф. съемка	10 мм + 2 мм/км
Точность измерений по высоте: диф. съемка	20 мм + 2 мм/км

Приемник SR20 имеет встроенную микрополосковую антенну, а также возможность подключения внешней геодезической GPS-антенны Leica AT501. Прибор имеет дисплей (240×240 точек) и алфавитно-цифровую клавиатуру, что создает удобства при работе в кинематическом режиме и не требует приобретения и подключения дополнительного контроллера.

Клавиатура SR20 сделана в стиле мобильного телефона. На боковой поверхности корпуса имеются дополнительные клавиши ввода и управления курсором. Сбор данных осуществляется на карту памяти типа Compact Flash, также как в двухчастотных приемниках GPS и электронных тахеометрах Leica System 1200. SR20 имеет съемный литий-ионный аккумулятор, надежно скрытый в корпусе прибора под крышкой с прорезиненными краями.

В нижней части корпуса есть два разъема типа Lemo: интерфейсный последовательный порт RS232 и порт для внешней антенны. Кроме этого, приемник имеет встроенное устройство беспроводной связи Bluetooth, которое служит для соединения с GSM-модемами при приеме дифференциальных поправок или с

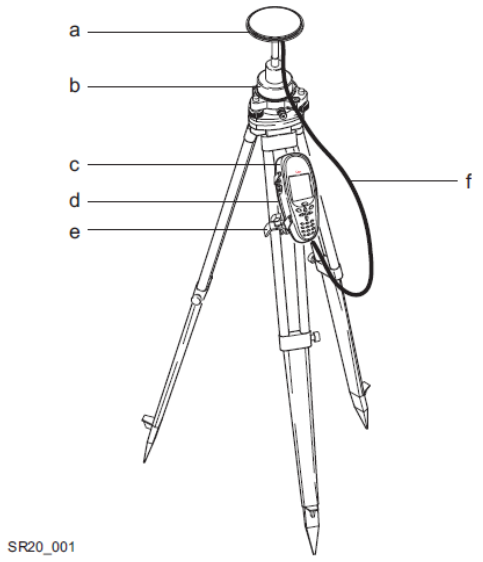
лазерным дальномером DISTO Plus для определения местоположения недоступных точек.

Leica Geosystems создал универсальное спутниковое устройство для различных приложений. Один и тот же прибор можно использовать как приемник GS20 для картографирования и ГИС-приложений или как приемник SR20 для геодезических измерений и съемки. Изменение типа приемника и его функций осуществляется программно. Так же можно добавить новые возможности, например, расчет площади или прием RTCM-поправок для SR20.

3. Подготовка оборудования к работе

Для эффективного сбора GPS-данных необходимо устранить помехи для приема сигналов спутников. GPS приемники работают лучше всего в местах, свободных от препятствий. Нажмите и отпустите кнопку питания в левом нижнем углу клавиатуры. Устройство ответит сигналом, экран вспыхнет и высветит главное меню, устройство Leica SR20 полностью готово к работе.

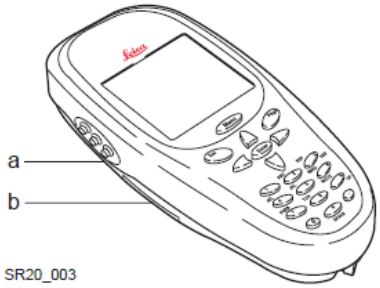
GPS-приемник в поле может быть установлен различными способами. Он может быть установлен на штатив и использоваться с внешней антенной для измерений в режиме «статика» (рис. 8.2). Также он может быть использован как персональный GPS-приемник для сбора данных или использования приемника с целью ориентировки на местности (рис. 8.3). SR20 может быть установлен на вехе и использоваться с внешней антенной для измерения в режиме «кинематика» (рис. 8.4).



Для установки на штативе необходимо следующее оборудование:

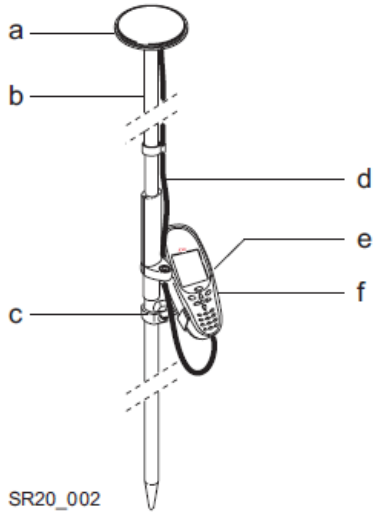
a – внешняя GPS антенна;
b – штатив (включая трегер и держатель антенны на трегере);
c – GPS приемник SR20;
d – аккумулятор для SR20;
e – держатель SR20 на вехе;
f – антенный кабель.

Рис. 8.2. Установка на штатив для статических измерений



Для использования приемника с целью ориентировки на местности (в руках) необходимы:
a – аккумулятор для SR20;
b – GPS приемник SR20.

Рис. 8.3. Использование для ориентировки на местности



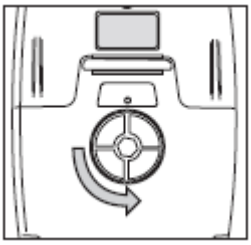
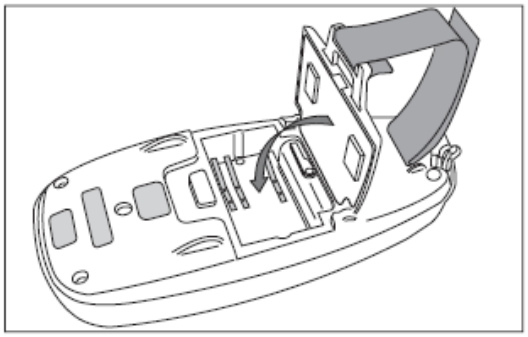
Для установки на вехе для кинематических измерений необходимо следующее оборудование:
a – внешняя GPS антенна;
b – веха;
c – держатель SR20 на вехе;
d – антенный кабель;
e – аккумулятор для SR20;
f – GPS приемник SR20.

Рис. 8.4. Установка на вехе

4. Первоначальный запуск GPS-приемника SR20

SR20 работает от одной батареи. Как только одна батарея полностью заряжена, можно подключить электропитание к SR20.

Электропитание приёмника

1. Откройте крышку отсека батареи SR20, повернув замок на 90° против часовой стрелки и потянув ее. 2. Поместите аккумулятор в отсек контактами вниз. 3. Закройте крышку и верните замок в позицию «закрыто», при этом стрелка должна указывать на точку на корпусе. 4. На клавиатуре нажмите кнопку электропитания в нижнем левом углу. Устройство после запуска ответит сигналом, после проверки памяти (2–3 секунды) экран SR20 вспыхнет и высветит главное меню.	 

Как только появится главное меню, приемник начинает поиск и захват сигналов спутников. Убедитесь, что над SR20 просматривается чистое небо! Сначала GPS-устройство не имеет Альманаха.

Альманах – это библиотека орбит спутников, помогающих GPS-приемнику быстрее определять положение спутников. При первом запуске устройства или после длительного перерыва определение местоположения может занять несколько минут, это явление называется «холодным стартом».

Чтобы облегчить запуск сбора данных, SR20 снабжен набором нескольких конфигурации, настроенных по умолчанию. Конфигурации по умолчанию могут быть изменены или могут быть созданы новые конфигурации. Конфигурация с любым из-

менением должна быть сохранена с другим именем. Ниже представлены четыре, обычно используемые конфигурации по умолчанию, которыми снабжен SR20.

1. STATIC – предназначается для кодово-фазовых измерений в режиме «статика» с их последующей обработкой. Это тип сбора данных используется при измерениях на точках для получения высокой точности, когда требуется, что бы при обработке данных каждая точка вычислялась отдельно. Во время сбора данных такого типа индикатор состояния приемника отображает информацию о минимальном необходимом времени измерений с целью обеспечения высокого доверительного уровня.

2. KINEMATIC – это также вид кодово-фазовых измерений и предназначается для измерений в режиме «кинематика». Неоднозначность разрешается по данным, собранным в статическом режиме на точке инициализации и затем производится расчет всей непрерывной кинематической цепочки. Если во время кинематических измерений число отслеживаемых приемником спутников окажется меньше 4, последовательность прервется и пользователю будет необходимо вновь выполнить инициализацию на точке в статическом режиме.

3. SBAS – сбор данных с приемом дифференциальных поправок в реальном времени, передаваемых специализированными спутниками SBAS. Поправки, передаваемые спутниками системы WAAS, доступны на территории Северной Америки. Поправки, передаваемые спутниками системы EGNOS, доступны в Европе.

4. RTREF – позволяет использовать SR20 как базовую GPS станцию. В этой конфигурации на порт приемника SR20 выводятся дифференциальные поправки в реальном времени.

В SR20 существует удобная система настройки прибора для выполнения различных видов работ. Пользователь может задать параметры съемки (угол отсечки спутников, DOP фильтр, интервал записи данных, высота антенны) и записать их в файл конфигурации (**Configuration set**).

Затем достаточно войти в меню настройки и выбрать файл конфигурации – прибор автоматически установит необходимые параметры. Можно заранее создать несколько файлов конфигурации и пользоваться ими для перенастройки прибора при проведении различных видов измерений. По умолчанию в SR20 име-

ются файлы настроек «STATIC», «KINEMAT», «POSTPROC» для работы с записью данных для постобработки, «BEACON», «SBAS», «RACAL», «RTNET» для приема дифференциальных поправок в реальном режиме времени и «REFOUT» для работы приемника в качестве базовой станции.

В приемнике SR20 имеется возможность настройки параметров отслеживания спутниковых сигналов для достижения максимально эффективного результата в полевых условиях. Существуют три уровня отслеживания: **Max Accuracy** для достижения максимальной точности, когда приемником записываются сигналы спутников только с большим уровнем мощности после фильтрации переотраженных сигналов; **Max Trak и Hyper Trak** для работы в трудных условиях приема спутниковых сигналов, например, при наличии густой листвы.

5. Полевое программное обеспечение

Полевое программное обеспечение приемника SR20 содержит функции настройки, выполнения съемки, разбивки и управления данными. Имеется набор прикладных программ для различных геодезических расчетов (преобразование координат, решение обратной геодезической задачи, расчет хода, вычисление координат точек методом засечек), импорта и экспорта файлов отчетов. Меню приемника русифицировано, имеет простой и интуитивно понятный вид.

Приложение 1

Исходные данные для лабораторных работ № 1 и № 3

№ варианта	*X*, м	*Y*, м	№ зоны	Переход из зоны в зону	H_1, м	H_2, м
0	6180031,61	–180474,72	3	Восток-запад	148	168
1	6027906,80	+220088,11	4	Запад-восток	132	154
2	6180045,23	–80529,08	5	Восток-запад	142	164
3	5992794,33	+249674,82	6	Запад-восток	158	179
4	6180052,68	–80542,01	7	Восток-запад	166	190
5	6103817,50	+171333,92	8	Запад-восток	190	150
6	6105576,84	+212300,80	9	Запад-восток	210	182

№ варианта	X, м	Y, м	№ зоны	Переход из зоны в зону	H_1, м	H_2, м
7	6280045,33	–70525,40	10	Восток-запад	182	194
8	6037806,80	+232188,12	11	Запад-восток	285	274
9	6187607,37	–268889,70	12	Восток-запад	237	284
10	6180046,13	–80532,87	13	Восток-запад	128	165
11	5991694,30	–239484,90	14	Восток-запад	121	148
12	5891694,35	–249484,91	15	Восток-запад	136	158
13	6030333,80	+100640,30	16	Запад-восток	151	124
14	6103817,50	–171333,92	17	Восток-запад	264	302
15	6100590,49	–220494,22	18	Восток-запад	121	98
16	6100580,49	+220493,11	19	Запад-восток	119	133
17	6105576,84	+212300,88	20	Запад-восток	446	415
18	6290045,33	–170525,40	21	Восток-запад	194	182

Приложение 2

Исходные данные для лабораторной работы № 2

№ варианта Название пункта	Координаты пунктов, м СК–42 – система координат 42 года (старая) WGS–84 – спутниковая система координат (новая)			
0	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
A	449,57	–46879,37	5331253,87	–46894,10
E	251,34	–40240,86	5331055,68	–40255,66
B	521,54	–42847,97		
C	740,82	–43322,73		
1	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
983 bis	9266,398	21987,958	6131562,600	445960,843
989	8763,163	22152,131	6131044,047	446067,207
2009 bis	8680,056	21958,781		
2005	8866,583	22479,687		
2	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
985 bis	9274,654	22158,421	6131551,602	446131,135
988 bis	8712,765	22274.080	6130980,227	446182,701
2001	9295,655	22234,443		
2004	8965,681	22507,075		
3	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
981	9200,000	21740,000	6131524,644	445706,891
988 bis	8712,765	22274.080	6130980,227	446182,701
2002	9183,550	22397,130		
2003	9099,014	22517,436		
4	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
982	9246,060	21906,607	6131551,586	445877,658
989	8763,163	22152,131	6131044,047	446067,207
2011	8978,467	21693,097		
2010 bis	8830,353	21708,639		
5	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
981 bis	9195,557	21745,101	6131519,580	445711,555
988 bis	8712,765	22274.080	6130980,227	446182,701
2047	8673,297	22405,776		
2006	8729,323	22436,892		

Продолжение прил. 2

№ варианта	Координаты пунктов, м			
6	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
2011	8978,467	21693,097	6131309,767	445635,387
985bis	9274,654	22158,421	6131551,602	446131,135
2004	8965,681	22507,075		
2005	8866,583	22479,687		
7	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
2010bis	8830,353	21708,639	6131160,820	445634,101
985bis	9274,654	22158,421	6131551,602	446131,135
2001	9295,655	22234,443		
2002	9183,550	22397,130		
8	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
982	9246,060	21906,607	6131551,586	445877,658
988	8703,155	22272,321	6130970,909	446179,842
2004	8965,681	22507,075		
2005	8866,583	22479,687		
9	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
985bis	9274,654	22158,421	6131551,602	446131,135
988	8703,155	22272,321	6130970,909	446179,842
2006	8729,323	22436,892		
2007bis	8731,975	22093,347		
10	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
981	9200,000	21740,000	6131524,644	445706,891
988	8703,155	22272,321	6130970,909	446179,842
2009bis	8680,056	21958,781		
2008bis	8680,474	22036,881		
11	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
982	9246,060	21906,607	6131551,586	445877,658
989	8763,163	22152,131	6131044,047	446067,207
2007bis	8731,975	22093,347		
2047	8673,297	22405,776		

№ варианта	Координаты пунктов, м			
12	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
985 bis	9274,654	22158,421	6131551,602	446131,135
988	8703,155	22272,321	6130970,909	446179,842
2011	8978,467	21693,097		
2010bis	8830,353	21708,639		
13	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
985 bis	9274,654	22158,421	6131551,602	446131,135
989	8763,163	22152,131	6131044,047	446067,207
2002	9183,550	22397,130		
2004	8965,681	22507,075		
14	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
985 bis	9274,654	22158,421	6131551,602	446131,135
983 bis	9266,398	21987,958	6131562,600	445960,843
2001	9295,655	22234,443		
2005	8866,583	22479,687		
15	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
981 bis	9195,557	21745,101	6131519,580	445711,555
983 bis	9266,398	21987,958	6131562,600	445960,843
2006	8729,323	22436,892		
2004	8965,681	22507,075		
16	WGS–84С		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
981 bis	9195,557	21745,101	6131519,580	445711,555
985 bis	9274,654	22158,421	6131551,602	446131,135
2047	8673,297	22405,776		
2008 bis	8680,474	22036,881		
17	WGS–84		СК–42	
	X	*Y*	*X'*	*Y'*
982 bis	9242,383	21897,409	6131548,948	445868,161
983 bis	9266,398	21987,958	6131562,600	445960,843
2009 bis	8680,056	21958,781		
2011	8978,467	21693,097		

Приложение 3

Координаты пунктов и измеренные расстояния для лабораторной работы № 4

Данные, м	№ варианта					
	0	1	2	3	4	5
X_A	71134,30	78247,73	85361,16	92474,59	99588,02	106701,45
Y_A	86764,34	95440,77	104117,21	112793,64	121470,08	130146,51
X_B	71597,76	78757,54	85917,31	93077,09	100236,86	107396,64
Y_B	86885,26	95573,79	104262,31	112950,84	121639,36	130327,89
X_C	72179,24	79397,16	86615,09	93833,01	101050,94	108268,86
Y_C	86591,89	95251,08	103910,29	112569,46	121228,65	129887,84
S_1	547,33	602,06	656,80	711,53	766,26	821,00
S_2	690,91	760,00	829,09	898,18	967,27	1036,36
S_3	920,73	1012,80	1104,88	1196,95	1289,02	1381,10

Данные, м	№ варианта					
	6	7	8	9	10	11
X_A	113814,88	120928,31	128041,74	135155,17	64020,87	56907,44
Y_A	138822,94	147499,38	156175,81	164852,25	78087,91	69411,47
X_B	114556,42	121716,19	128875,97	136035,74	64437,98	57278,21
Y_B	139016,42	147704,94	156393,47	165082,00	78196,73	69508,21
X_C	115486,78	122704,71	129922,63	137140,56	64961,32	57743,39
Y_C	138547,02	147206,21	155865,40	164524,59	77932,70	69273,51
S_1	875,73	930,46	985,19	1039,93	492,60	437,86
S_2	1105,46	1174,55	1243,64	1312,73	621,82	552,73
S_3	1473,17	1565,24	1657,31	1749,39	828,66	736,58

Данные, м	№ варианта					
	12	13	14	15	16	17
X_A	49794,01	34855,81	89629,22	96031,31	103144,74	108835,48
Y_A	60735,04	42514,53	109323,07	117131,86	125808,29	132749,44
X_B	50118,43	35082,90	90213,18	96656,98	103816,75	109544,57
Y_B	60819,68	42573,78	109475,43	117295,10	125983,63	132934,45
X_C	50525,47	35367,83	90945,84	97441,97	104659,90	110434,24
Y_C	60614,32	42430,03	109105,78	116899,05	125558,24	132485,59
S_1	383,13	268,19	689,64	738,90	793,63	837,41
S_2	483,64	338,55	870,55	932,73	1001,82	1057,09
S_3	644,51	451,16	1160,12	1242,99	1335,06	1408,72

Контрольные вопросы к лабораторным работам

Вопросы к работе № 1–2

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?

Вопросы к лабораторной работе № 3

1. Назвать системы координат, применяемые в спутниковой геодезии.
2. Начертить схему геоцентрической и топоцентрической систем координат и дать их характеристику.
3. Для чего необходим переход от одной плоской системы координат к другой при решении задач спутниковой геодезии?
4. Сколько пунктов в двух системах координат необходимо иметь для преобразования координат из одной системы в другую?

Вопросы к лабораторной работе № 4

1. Перечислите редукционные задачи, возникающие при измерении линий спутниковыми системами.
2. Для чего необходимо редуцировать направления?
3. Приведите формулу прямого перехода при редуцировании расстояния.

Вопросы к лабораторной работе № 5

1. Что измеряют спутниковым приёмником при дифференциальном методе?
2. Как учитывается и как влияет геометрический фактор созвездия спутников на точность измерений?

3. Какие требования предъявляют к фигурам трилатерации, обработанной спутниковыми наблюдениями?

4. Перечислите основные факторы, влияющие на точность спутниковых наблюдений.

Вопросы к лабораторной работе № 6

1. Для чего и в каких случаях необходимо совершать переходы от геодезических координат к прямоугольным или от прямоугольных зональных координат Гаусса–Крюгера к геодезическим?

2. Какие параметры вычисляют при решении прямой и обратной геодезических задач по прямоугольным координатам на эллипсоиде?

3. Какие параметры вычисляют при решении прямой и обратной геодезических задач по прямоугольным координатам на плоскости проекции Гаусса–Крюгера?

4. Какие параметры вычисляют при решении прямой и обратной геодезических задач на эллипсоиде по геодезическим координатам?

Вопросы к лабораторной работе № 7

1. В чём заключается принцип измерения расстояний с помощью ГНСС?

2. Какова структура радиосигналов систем GPS/ГЛОНАСС?

3. Начертить упрощённую структурную схему приёма спутниковых сигналов.

4. Модификации спутниковых приёмников (первого, второго, третьего классов точности).

5. Какие производители выпускают спутниковое оборудование для геодезических целей?

Вопросы к лабораторной работе № 8

1. Из каких конструктивных деталей состоит комплект спутникового оборудования?

2. Какие функции выполняют приемники геодезического назначения?

3. Уровни точности и возможности одночастотного приемника SR20.

4. Назначение геостационарных систем WAAS и EGNOS.

5. Способы установки GPS-приёмника.

6. Последовательность работ при первоначальном запуске GPS-приёмника SR20.

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; КузГТУ. – Кемерово, 2012. – 91 с.
http://library.kuzstu.ru/meto.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.

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 съемке 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».

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
Лабораторная работа №1 Перевычисление прямоугольных координат из одной шестиградусной зоны в другую шестиградусную зону (из восточной в западную или из западной в восточную)	3
Лабораторная работа №2 Перевычисление прямоугольных координат из шестиградусной зоны в трёхградусную и обратно	9
Лабораторная работа №3 Перевычисление координат пунктов из одной плоской системы координат в другую, обратный переход	13
Лабораторная работа №4 Вычисление длины линии, приведённой на физическую поверхность Земли. Переход от дирекционного угла к азимуту заданной линии	17
Лабораторная работа №5 Определение координат пункта по трём измеренным расстояниям с трёх известных пунктов	23
Лабораторная работа №6 Вычисление геодезических координат по прямоугольным и прямоугольных координат по геодезическим	26
Лабораторная работа №7 Знакомство с комплектацией и техническими характеристиками спутниковой аппаратуры, применяемой для геодезических целей	30
Лабораторная работа №8 Изучение комплекта аппаратуры и инструкции по работе со спутниковым приёмником Leica SR20. Подготовка к работе и первоначальный запуск	35
Приложение 1 Исходные данные для лабораторных работ № 1 и № 3	43
Приложение 2 Исходные данные для лабораторной работы № 2	44
Приложение 3 Координаты пунктов и измеренные расстояния для ла-	47

бораторной работы № 4	
Контрольные вопросы к лабораторным работам	48
ЛИТЕРАТУРА Основная и дополнительная литература, методические указания и нормативные документы, программное обеспечение, Интернет-ресурсы	50