

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии

ВЫСШАЯ ГЕОДЕЗИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

к выполнению практических работ
для студентов направления 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование»
(профиль «Геодезия») всех форм обучения

Воронеж 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	
Лабораторная работа № 1. Определение погрешности совмещения штрихов шкал оптического микрометра	7
Лабораторная работа № 2. Наблюдение горизонтальных направлений по способу круговых приемов.....	9
Лабораторная работа № 3. Математическая обработка результатов наблюдений в способе круговых приемов	17
Лабораторная работа № 4. Наблюдение горизонтальных углов по способу всевозможных комбинаций	22
Лабораторная работа № 5. Математическая обработка результатов наблюдений в способе всевозможных комбинаций.....	28
Лабораторная работа № 6. Определение цены деления цилиндрического уровня по рейке	30
Литература	35

ВВЕДЕНИЕ

Геодезия – очень распространенная область знаний, с которой человек постоянно сталкивается в практической деятельности, используя топографические карты, занимаясь строительством дорог, зданий, промышленных комплексов, запуская космические корабли и т.д. В целом ее можно разделить на «собственно геодезию», рассматривающую вопросы геодезического обеспечения в повседневной практике, и высшую геодезию, которая делает возможным простое применение геодезии в практической жизни.

Студенты первых двух курсов получают, в основном, знания по «собственно геодезии», включающие такие геодезические понятия как ориентирование, азимут, рельеф, системы координат, применяемые в практике повседневных геодезических работ, дирекционный угол, способы получения плановых и высотных координат; виды геодезических измерений; топографическая съемка, методы создания планово-высотного обоснования для этой съемки и т.д. При этом, выполняя геодезическую работу, например, топографическую съемку, они пользуются уже готовой исходной основой, т.е. прямоугольными координатами углов рамок трапеций, координатной сеткой, плановыми и высотными координатами исходных пунктов государственной геодезической сети, которая при необходимости сгущается планово-высотными съемочными сетями. Топографическая съемка сводится к очень простому процессу: определение расстояния и превышения точки местности относительно точки стояния прибора. Простота производства топографической съемки обусловлена, прежде всего, наличием готовой координатной исходной основы необходимой точности и плотности, при которой отпадает необходимость учета в результатах геодезических измерений кривизны Земли и неоднородностей гравитационного поля Земли в пределах участка съемки. Но возможность такого простого подхода при топографической съемке, под которой в данном случае мы понимаем картографирование территории страны в единой системе координат, обеспечена сложным подготовительным процессом создания опорной геодезической сети, изучения гравитационного поля Земли, а также решения ряда других проблем, которыми уже занимается высшая геодезия.

Высшая геодезия – это обширная область знаний, занимающаяся определением формы, размеров и гравитационного поля Земли, заданием систем координат, созданием государственных опорных геодезических сетей, обеспечивающих по точности и плотности картографирование страны и выполнение инженерно-геодезических работ, изучением геодинамиче-

ских явлений, решением геодезических задач на поверхности земного эллипсоида и в пространстве.

Настоящий раздел высшей геодезии рассматривает основные геодезические работы, которые выполняются при создании государственных геодезических сетей, плановых и высотных. Акцент сделан на наземные высокоточные геодезические измерения и, соответственно, на геодезические сети высших классов.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
Лабораторная работа № 1
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ СОВМЕЩЕНИЯ
ШТРИХОВ ШКАЛ ОПТИЧЕСКОГО МИКРОМЕТРА**

Перед каждым отсчетом по шкале оптического микрометра производится совмещение изображений штрихов шкал лимба. От точности совмещения этих штрихов зависит и точность отсчета по шкале микрометра. Надо заметить, что поскольку изображения штрихов совмещаются на глаз, то погрешности совмещения будут выражать не только степень правильности работы микрометра, но и личные погрешности наблюдателя. Поэтому перед исследованиями необходима предварительная тренировка.

Исследование сводится к нахождению разности отсчетов при двукратном совмещении одних и тех же штрихов. Работу микрометра следует исследовать по всей его рабочей части. Чтобы исключить влияние мертвого хода, надо совмещение штрихов делать только поворотом барабана микрометра по ходу часовой стрелки.

Для исследования горизонтального круга алидаду устанавливают через 15° на отсчетах 0, 15, 30, ..., 330, 345° , всего 24 установки. После каждой установки перемещают шкалу микрометра для теодолита ОТ02 через

$$\frac{60^{\circ}}{24} = 2,5^{\circ}, \text{ т.е. дают отсчеты } 0; 2,5; 5,0; 7,5 \dots, 55,0; 57,5^{\circ}; \text{ для теодолита}$$

$$\text{ОТ1 через } \frac{300'}{24} = 12,5'; \text{ для теодолита ЗТ2КП – через } \frac{600'}{24} = 25';$$

Порядок одной установки следующий:

1. Барабаном устанавливают на шкале микрометра рассчитанный отсчет в делениях.

2. Вращением алидады от руки, а затем наводящим ее винтом устанавливают на горизонтальном круге отсчет, кратный $15^{\circ}00'$, совмещая штрихи шкал, близкие к индексу.

3. Повернув барабан несколько на себя, затем, вращая его только по ходу часовой стрелки, дважды совмещают штрихи и каждый раз берут отсчет I, II. Для каждой установки находят разность отсчетов $d = I - II$, а потом вычисляют среднюю квадратическую ошибку одного совмещения, которая не должна превышать $\pm 0,3''$ для теодолитов ОТ02, ОТ1 и $\pm 0,5''$ для теодолита ЗТ2КП (табл. 1), по формуле

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

Определение погрешностей совмещения штрихов

Оптический теодолит ОТ-02 № 9529
6 октября 2007 г.

Установка алидады	Отсчеты по микрометру		$d = I - II$	Установка алидады	Отсчеты по микрометру		$d = I - II$
	I совмещение	II совмещение			I совмещение	II совмещение	
Горизонтальный круг							
0°	0,4 [∅]	0,5 [∅]	- 0,1 [∅]	180°	30,1 [∅]	30,1 [']	0,0 [∅]
15	2,7	2,9	- 0,2	195	32,8	32,6	+0,2
30	4,9	5,0	- 0,1	210	35,1	35,3	- 0,2
45	7,4	7,2	+0,2	225	37,5	37,6	- 0,1
60	10,2	10,3	- 0,1	240	39,9	40,0	- 0,1
75	12,3	12,3	0,0	255	42,6	42,8	- 0,2
90	15,1	15,2	- 0,1	270	45,1	45,0	+0,1
105	16,8	16,7	+0,1	285	47,3	47,3	0,0
120	20,2	20,2	0,0	300	50,2	50,3	- 0,1
135	22,5	22,5	0,0	315	52,4	52,3	+0,1
150	25,0	25,0	- 0,3	330	55,2	54,9	+0,3
165	27,3	27,6	- 0,3		57,6	57,7	- 0,1
							$[dd] = 0,58$

Средняя квадратическая погрешность одного совмещения

$$m_{\text{сop}} = \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} = \sqrt{\frac{0,58}{48}} \approx \pm 0,11^{\circ} = \pm 0,22 < \pm 0,3''.$$

Наблюдал: *А. В. Петров*

Записывал *Н.П. Васильев*

Лабораторная работа № 2
НАБЛЮДЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ
ПО СПОСОБУ КРУГОВЫХ ПРИЕМОВ

Способ круговых приемов предложен в первой половине XIX века русским военным геодезистом В.Я. Струве. Суть способа заключается в том, что при неподвижном лимбе теодолита, вращая алидаду по ходу часовой стрелки, последовательно наводят зрительную трубу на все визирные цели наблюдаемых направлений от первого (начального) к последнему и производят отсчеты по лимбу горизонтального круга и оптическому микрометру. Заканчивают круг наблюдений повторным наведением зрительной трубы на начальное направление, снова производят отсчет. Этот комплекс измерений составляет первый полуприем. Затем переводят трубу через зенит и, вращая алидаду против хода часовой стрелки, наводят трубу на 1, 4, 3, 2 и снова 1 направления. Эта серия наблюдений составляет второй полуприем. Два полуприема составляют один круговой прием.

Повторное наведение в каждом полуприеме на начальное направление с фиксированием отсчетов называется замыканием горизонта. Замыкание горизонта позволяет контролировать неподвижность лимба и отсутствие кручения знака в течение полуприема. В процессе наблюдений необходимо помнить, что в каждом полуприеме алидаду вращают только в одном направлении: в первом полуприеме (при круге лево) по ходу часовой стрелки, во втором (при круге право) – только в обратном направлении. При приближенном наведении трубы на визирную цель обратные движения алидады не разрешаются. Если труба окажется переведенной через визирную цель, то необходимо алидаду повернуть на полный оборот по ходу вращения ее в данном полуприеме.

Перед началом наблюдений на пункте составляется таблица рабочих установок лимба. Инструкцией в зависимости от класса триангуляции и типа применяемого теодолита установлено определенное число приемов наблюдений (табл. 1).

Таблица 1

Число приемов при наблюдении на пунктах триангуляции

Типы применяемых теодолитов	Число приемов на пунктах классов		
	2	3	4
T 0,5	12	9	4
T1, OT-02M, OT-02	12*	9	6
3T2КП	–	12	6

* Если наблюдения в триангуляции 2 класса выполняются теодолитом OT 02 без поверительной трубы со сложных сигналов, то число приемов увеличивается до 15

Угол перестановки лимба между приемами можно рассчитать по формуле

$$\sigma = \frac{180}{m} + i \text{ (или } \frac{i}{2} \text{)},$$

где m – число приемов;

i – цена деления лимба.

Затем составляется программа наблюдений на пункте, т.е. таблица рабочих установок лимба.

Примеры.

1. На пункте Березовка триангуляции 3 класса теодолитом ОТ-02 необходимо выполнить наблюдения. Угол перестановки лимба между приемами вычисляется по формуле

$$\sigma = \frac{180}{9} + 4' = 20^{\circ}04'.$$

Программу наблюдений на пункте Березовка можно представить в виде табл. 2.

Таблица 2
Программа наблюдений на пункте *Березовка* Теодолит ОТ 02

№ приемов	Названия направлений				
	Боровое	Круглое	Пертовка	Сосновка	Клюквенка
I	0 ^o 00'*	57 ^o 43'*	104 ^o 12'*	198 ^o 09'*	301 ^o 37'*
II	20 04	77 47	124 16	218 13	321 41
III	40 08	97 51	144 20	238 17	341 45
IV	60 12	117 55	164 24	258 21	1 49
V	80 16	137 59	184 28	278 25	21 53
VI	100 20	158 03	204 32	298 29	41 57
VII	120 24	178 07	224 36	318 33	62 01
VIII	140 28	198 11	244 40	338 37	82 05
IX	16 32	218 15	264 44	358 41	102 09

* Значения направлений, измеренных на пункте Березовка, до начала наблюдений с точностью до минуты

Если на этом же пункте Березовка (3 класс) наблюдения будут выполняться теодолитом ЗТ2КП, то угол перестановки лимба между приемами должен быть 15^o10'. Программа наблюдения для этого случая рассчитывается так же, как показано в табл. 2.

2. На пункте триангуляции Ельня должны быть выполнены наблюдения по программе 2 класса теодолитом ОТ-02М без поверительной трубы. Программа рабочих установок лимба для этого случая дается в табл. 3, $\sigma = 12^{\circ}05'$.

Система установок лимба, рассчитанных для каждого приема, способствует максимальному ослаблению влияния погрешности штрихов лимба на результаты угловых измерений. Рабочие установки на все другие направления, кроме начального, позволяют наблюдателю во время работы быстро найти нужный объект визирования. Точность установки лимба должна быть не ниже 2 – 3'.

Таблица 3
Программа наблюдений на пункте Ельня Теодолит ОТ 01

№ приемов	Название направлений			
	Чертаново	Занино	Сокольники	Храброе
I	0°00'	32°42'	107°00'	190°24'
II	12 05	44 47	119 05	202 29
III	24 10	56 52	131 10	214 34
IV	36 15	68 57	143 15	326 39
V
VI	132 55	165 37	239 55	323 19
VII	145 00	177 42	252 00	335 24
VIII	157 05	189 47	264 05	347 29
IX	169 10	201 52	276 10	359 34

Порядок работы на пункте. Работа на пункте начинается с выполнения подготовительных процессов. Для этого перед началом наблюдений на пункте необходимо: соблюдая правила по технике безопасности, поднять теодолит на сигнал, установить его на столике сигнала не менее чем за полчаса до начала наблюдений, чтобы он принял температуру окружающей среды. Теодолит защищают от воздействия солнечных лучей и ветра. Устраняют все обнаруженные дефекты сигнала. Приводят теодолит в рабочее положение. Затем уточняют полученную схему триангуляции, отыскивая направления, подлежащие наблюдению с данного пункта. Одновременно выполняют измерение горизонтальных направлений и зенитных расстояний с точностью до минут. Данные измерений горизонтальных направлений используют при составлении программы наблюдений. По отсчетам вертикального круга, т.е. по измеренным зенитным расстояниям, определяют, в какие направления необходимо вводить поправки за наклон оси вращения инструмента. Эта поправка вводится в те направления, зенитные расстояния которых отличаются от 90° на величину более 2°.

Найдя направления, подлежащие наблюдению, и изучив условия видимости и прохождения визирного луча по всем направлениям, решают вопрос о выборе начального направления.

На пункте, имеющем направления 2, 3 и 4 классов, наблюдения выполняют отдельно по самостоятельной программе для направлений каждого класса. При этом в программу наблюдений включают направления дан-

ного класса и для связи направления на 1 – 2 пункта высшего класса, имеющих наилучшую видимость. Начальным для всех групп на данном пункте берут, как правило, одно и то же направление.

Если на пункте много направлений какого-либо класса (9 и более) или отсутствует одновременная видимость по всем направлениям, то целесообразно разделить направления на две группы. Разбивку направлений на группы необходимо выполнять так, чтобы последнее направление одной группы было начальным для другой. При этом на пункте возникает условие горизонта. Связь смежных групп в этом случае осуществляется через общие направления, которыми являются последние направления групп.

Например, когда на пункте 9 направлений, разбивку последних на группы с учетом конкретных условий видимости можно сделать следующим образом:

Вариант	1-я группа	2-я группа
I	1, 2, 3, 4, 5	5, 6, 7, 8, 9, 1
II	1, 2, 3, 4, 5, 6	6, 7, 8, 9, 1

Дополнительным контролем наблюдений в этом случае является условие горизонта, невязка (свободный член) которого не должна превышать величины $3m$, где m – средняя квадратическая погрешность измеренного угла для данного класса.

Отдельный прием измерения направлений способом круговых приемов состоит из следующих операций.

1. Наводят биссектор зрительной трубы на визирную цель начального направления, устанавливают на лимбе отсчет, соответствующий тому, который указан в таблице для данного приема. Для этого с помощью головки шестерни лимба совмещают изображения противоположных штрихов лимба. Для первого приема, например, совмещают штрихи $0^{\circ}00'$ и $180^{\circ}00'$. При этом отсчет на шкале секунд оптического микрометра для первого приема должен быть близким к нулю. В последующих приемах при очередной установке лимба рекомендуется менять отсчет на шкале секунд на 5 – 10 делений. Затем перед началом первого полуприема необходимо дать алидаде 1 – 2 свободных оборота в направлении ее последующего движения. Обычно в полуприеме, выполняемом при круге лево, алидаду вращают по ходу часовой стрелки, при круге право – против хода часовой стрелки. После этого наводят трубу на начальное направление, заканчивая наведение биссектора на изображение визирной цели микрометренным винтом алидады при закрепленном зажимном винте. Затем дважды точно совмещают противоположные штрихи лимба барабаном оптического мик-

рометра и после каждого совмещения делают отсчет: после первого совмещения – по лимбу и шкале микрометра, после второго – только по шкале микрометра.

2. После этого, открепив зажимной винт алидады и вращая ее в заданном в начале полуприема направлении, наводят биссектор на очередной пункт, не забывая при этом окончательное наведение выполнять ввинчиванием микрометричного винта алидады.

Барабаном оптического микрометра дважды совмещают изображения противоположных штрихов лимба и дважды делают необходимые отсчеты по лимбу и оптическому микрометру.

Аналогичным образом выполняют наблюдения на все последующие направления.

3. Первый полуприем заканчивают повторным наведением на начальное направление и производством отсчетов, как указано в п. 1. Полученные значения отсчетов на начальное направление в начале и в конце полуприема не должны расходиться между собой более чем на 6" для ОТ-02 и равноточных ему инструментов и на 8" для Т2 и ему равноточных. Если незамыкание горизонта в полуприеме получится выше указанного допуска, то прием передельывают на той же установке лимба.

4. Перед началом второго полуприема переводят трубу через зенит, открепляют зажимной винт алидады и, оставляя лимб неподвижным, дают ей 1 – 2 свободных оборота против хода часовой стрелки. Затем наводят биссектор на начальное направление и берут отсчеты в той же последовательности. Далее наблюдают все остальные пункты (направления), но в обратном порядке 1, 4, 3, 2, 1.

Результаты измерений горизонтальных направлений способом круговых приемов записывают в журнале установленной формы (табл. 4).

Обработка журнала. Начинается обработка журнала в процессе наблюдений и выполняется помощником наблюдателя.

В графы 3, 4 и 5 записывают отсчеты по лимбу и оптическому микрометру. В графе 6 по каждому направлению при каждом круге выводят среднее из отсчетов по микрометру (для ОТ-02 таким средним является сумма отсчетов по микрометру). По окончании каждого полуприема вычисляют значения незамыкания горизонта при круге лево и круге право, т.е. Δ_L , Δ_P и $\frac{\Delta_L + \Delta_P}{2} = \Delta_{cp}$. Если Δ_L или Δ_P будут превышать допуск, то дальнейшее

наблюдение и обработку такого приема прекращают. Прием аккуратно зачеркивают и в журнале делают примечание – причины исключения приема. Забракованный прием наблюдают снова на той же установке.

Таблица 4

Журнал измерения горизонтальных направлений круговыми приемами
на пункте триангуляции 3 класса
Теодолит ОТ-02

Пункт – Березовка

Прием IV

Дата 22. IX. 2007 г.

 $t^{\circ} = +16^{\circ}$

Погода – облачная, ветер – слабый

Время 16 ч 37 мин.

Видимость – удовлетв.

Изображение – слегка колеблющееся

Название направления	Круг	Отсчет по штрихам лимба	Отсчет по микрометру		$\frac{a_1 + a_2}{2}$ или $a_1 + a_2^*$	$L - П$ (2С)	$\frac{L + П}{2}$	Значение направления
			a_1	a_2				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Боровое	Л	60 ⁰ 12'	34,3	34,5	13 08,8	+7,0	13'05,3"	0 ⁰ 00'00,0"
	П	240 12	31,0	30,8	01,8			
Круглое	Л	117 56	23,1	22,8	56 45,9	+6,1	56 42,8	57 43 37,2
	П	297 56	20,0	19,8	39,8		-0,3	
Петровка	Л	164 24	58,2	58,2	25 56,4	+1,5	25 55,6	104 12 49,7
	П	344 24	57,3	57,6	54,9		-0,6	
Сосновка	Л	258 22	04,6	04,7	22 09,3	+3,8	22 07,4	198 09 01,2
	П	78 22	02,8	02,7	05,5		-0,9	
Клюквенка	Л	1 50	15,0	15,3	50 30,3	-0,8	50 30,7	301 37 24,2
	П	181 50	15,5	15,6	31,1		-1,2	
Боровое	Л	60 12	33,9	34,0	13 07,9	+2,4	13 06,7	–
	П	240 12	32,8	32,7	05,5		-1,4	
Незамыкание $\Delta_L = -0,9''$; $\Delta_P = +3,7''$; $\Delta_{cp} = +1,4''$								
Замечания – наибольшее $\Delta_{(L-P)} = -7,0''$								

* $a_1 + a_2$ – для теодолита ОТ-02

Затем вычисляют по каждому направлению двойную коллимационную ошибку $2C = L - П$, где L и $П$ – значения направления соответственно при круге лево и круге право. Полученные $2C$ вписывают в графу 7 против соответствующих им направлений. Колебания $2C$ в приеме не должны превышать 8" для ОТ-02, ОТ-02М и Т1 и 10" для Т2 и равноточных ему теодолитов. В горных районах, где зенитные расстояния значительно отличаются от 90^0 , колебания $2C$ допускаются соответственно в пределах 12" и 14". Если колебание $2C$ в приеме превысит допустимую величину, то наблюдения такого приема прекращают и сразу же повторяют на той же установке. Если недопустимое колебание $2C$ обнаружено после окончания приема или всей программы, недоброкачественный прием также подлежит переделке на той же установке. Неоконченные приемы из-за недопустимой величины замыкания горизонта или колебания $2C$ и переделанные на тех

же установках в подсчете переделок (в % повторных измерений) не учитывают. В связи с этим при обработке журнала наблюдений желательнее, чтобы помощник успевал по ходу наблюдений производить вычисления граф 6 и 7 и своевременно выявлял недопустимость величин Δ_L , Δ_{II} и $2C$. Тогда переделка недоброкачественных приемов должна выполняться сразу же по ходу наблюдений. В противном случае переделка таких приемов должна производиться в конце программы наблюдений.

Затем вычисляют средние значения каждого направления из полученных величин этого направления в полуприемах и записывают их в графу 8. Для начального направления среднее значение получается дважды в начале и в конце полуприема (в нашем примере 13'05,3" и 13'06,7"). Разность их равна среднему значению незамыкания горизонта Δ_{cp} . Эту невязку за незамыкание горизонта распределяют пропорционально порядковому номеру направлений по формуле

$$\delta_k = \frac{-\Delta_{cp}}{n} (k - 1),$$

где δ_k – поправка в направление;

n – число наблюдаемых направлений;

k – порядковый номер наблюдаемого направления.

Вычисленные поправки δ_k в каждое направление записывают в графу 8 под средним значением соответствующего поправке направления. Знак поправки δ_k всегда противоположный знаку Δ_{cp} .

Окончательные значения приведенных к нулю направлений для данного приема получают путем вычитания среднего значения начального направления (в примере 13'05,3") из среднего значения каждого направления с учетом поправки δ_k . Эти данные записывают в графе 9.

Вычисление значений измеренных направлений в отдельных приемах на пунктах триангуляции всех классов производят с точностью до 0, Г'.

Результаты угловых измерений, выполненных способом круговых приемов, должны удовлетворять допускам, приведенным в табл. 5.

Все законченные приемы основной программы, не удовлетворяющие указанным выше допускам, считаются недоброкачественными и подлежат повторному наблюдению. Выбраковка приемов и приемонаправлений является ответственным моментом при выполнении повторных измерений. При этом необходимо руководствоваться следующими правилами.

1. Повторные измерения следует выполнять только после окончания наблюдений основной программы и тщательного контроля всех вычислений в приемах.

Таблица 5

Допуски при измерении направлений на пунктах триангуляции 2, 3 и 4 классов

Вид допуска	Типы теодолитов	
	T1, OT-02, OT-02M	ЗТ2КП
Расхождение между результатами наблюдений на начальное направление в начале и конце полуприема (замыкание горизонта)	6"	8"
Колебание направлений в отдельных приемах, приведенных к начальному направлению	6	8

2. Приемы, в которых значительное число результатов направлений не удовлетворяет требованиям инструкции, переделывают полностью. Приемы, в которых 1 – 2 направления подлежат перенаблюдениям, можно переделывать не полностью. При этом требующее перенаблюдения направление связывают с начальным и двумя смежными направлениями во 2 классе и с начальным и одним смежным направлением в 3 и 4 классах. Аналогичным образом производят наблюдения пропущенных из-за плохой видимости направлений при выполнении основной программы.

3. Если из всего ряда наблюдений результаты двух приемов недопустимо отличаются один от другого и от результатов остальных приемов уклоняются в разные стороны на сравнительно большую величину, то рекомендуется повторять оба приема как с максимальным, так и с минимальными значениями направлений.

4. Прием, результаты направлений которого значительно уклоняются от результатов остальных приемов, переделывают как грубо измеренный.

5. Повторные измерения приемов выполняют на прежних установках лимба. Если значение выполненного повторно приема не удовлетворяет требованиям допуска, то такой прием рекомендуется повторять вторично. Вторичное бисирование приема выполняют на измененной установке лимба – на установке смежного приема.

6. На пункте к перенаблюдениям допускается не более 30 % всех приема-направлений; в противном случае наблюдения выполняют заново.

Наблюдения на пункте считаются завершенными только после окончания основной программы и перенаблюдения недоброкачественных приемов и выполнения тщательного контроля всех вычислений, сделанных в журнале.

Лабораторная работа № 3
 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ
 В СПОСОБЕ КРУГОВЫХ ПРИЕМОМ

Таблица 1

Триангуляция 3 класса 1973 год

Сводка результатов наблюдений горизонтальных направлений и зенитных расстояний на пункте Березовка № 215

Наблюдатель – Валишев В.

Тип знака – простой сигнал

Инструмент – Т2 № 105313

Журнал № 2

Наблюдения выполнены с 6 по 7. 05. 2007 г.

Чертеж направлений	№ направ-лений	Название направлений	Уравнение на станции направления 0' "	$(c'' + r'')$ "	Приведенные к центру на-правления 0' "	Число на-правлений и приемов, вес направления, СКО
	1	Боровое	0 00 00,0			$n = 5$
	2	Круглое	57 43 36,1			$m = 12$
	3	Петровка	104 12 52,5			
	4	Сосновка	198 09 04,3			
	5	Клюквенка	301 37 23,7			
	Ориентирный пункт 1	93 07 17				$\mu = \pm 1,76''$
	Ориентирный пункт 2	264 48 49				$M = \pm 0,51''$
						$d_1 = 426\text{м}$
						$d_1 = 743\text{м}$

Вывод средних направлений на пункте Березовка

Начальное направление Боровое 0°00'00 00"

Дата наблюдений	№ приема	Установка лимба	Круглое		Петровка		Сосновка		Клюквенка		Наибольшие	
			0' "	v	0' "	v	0' "	v	0' "	v	замыкания	колебания (Л – П)
6.05.1973	I	0°00'	57 43		104 12		198 09		301 37			
	-//- II	15 10	33,7	-2,4	52,1	-0,4	04,8	+0,5	21,9	-1,8	-0,9	6,4
	-//- III	30 20	33,8	-2,3	49,8	-2,7	04,6	+0,3	23,2	-0,5	-0,8	8,0
	-//- IV	45 30	36,8	+0,7	50,5	-2,0	04,0	-0,3	25,0	+1,3	+2,1	5,1
	-//- V	60 40	39,2	+3,1	51,0	-1,5	03,2	-1,1	25,3	+1,6	-1,0	6,6
	-//- VI	75 50	35,7	-0,4	55,8	+3,3	08,6		19,2		-2,6	4,0
	-//- VII	91 00	38,6	+2,5	54,5	+20,0	06,4	+2,1	27,1	+3,4	-4,8	5,3
7.05.1973	VIII	106 10	38,0	+1,9	53,5	+1,0	05,8	+1,5	24,8	+1,1	-2,0	7,6
	-//- IX	121 20	36,9	+0,8	55,7	+3,2	03,6	-0,7	22,9	-0,8	2,0	3,3
	-//- X	136 30	37,7	+1,6	53,4	+0,9	07,9		25,7		+4,6	5,7
	-//- XI	151 40	34,2	-1,9	51,7	-0,8	04,9	+0,6	24,6	+0,9	-5,1	4,9
	-//- XII	166 50	36,0	-0,1	53,6	+1,1	05,5	+1,2	23,4	-0,3	+3,6	6,0
	Y		32,1	-4,0	48,3	-4,2	02,7	-1,6	20,9	-2,8	-1,2	7,2
	IX						00,9	-3,4	(19,6)	-4,3	-2,3	3,7
Y						05,3	+1,0	(26,3)	+2,3	+6,1	6,7	
								19,4				
								26,0				
	Среднее		57 43 36,1		104 12 52,5		198 09 04,3		301 37 23,7			
		$\Sigma(+)$		10,6		11,5		7,2		10,6		
		$\Sigma(-)$		11,1		11,6		7,1		10,5		$\Sigma v = 80,2$

Окончание табл. 1

Группа ориентирных пунктов					Средняя квадратическая погрешность направлений из 1 приема $\mu = K \frac{\sigma_{\psi}}{n}$; из m приемов $M = \frac{\mu}{\sqrt{m}}$, m – число приемов, n – число направлений.
№ приема	Боровое	Круглое	Ориентир- ный пункт 1	Ориентир- ный пункт 2	
I	0 ⁰ 00'00,0"	57 ⁰ 43'34,3"	93 ⁰ 07'16,1"	264 ⁰ 48'53,0"	Сводку составил: В. В. Валишев 10 мая 2007 г. Проверил: Н. Н. Арашин
II	00,0	38,4	21,6	47,4	
III	00,0	37,0	14,5	46,3	
Среднее	0 00 00,0	57 43 36,6	93 07 17	264 48 49	

Подсчитав средние значения всех направлений, вычисляют отклонения от них значений данного направления в каждом приеме с учетом знака v . Затем по каждому направлению подсчитывают суммы v с плюсом и минусом. При правильном вычислении среднего значения направления суммы положительных и отрицательных v для данного направления должны быть равны или отличаться за счет округлений в пределах $m: 2$ единиц последнего знака, где m – число приемов.

Оценку точности угловых измерений при применении способа круговых приемов производят по формулам:

▪ для вывода средней квадратической погрешности направления, измеренного одним приемом,

$$\mu = \pm K \frac{\sum |v|}{n};$$

▪ для средней квадратической погрешности уравненного на станции направления, выведенного из t приемов,

$$M = \pm \frac{\mu}{\sqrt{m}},$$

где $\sum |v|$ – сумма абсолютных значений отклонений измеренных направлений от их средних арифметических значений из всех приемов, взятых в обработку;

K – множитель при $m = 6, 9, 12$ или 15 равен соответственно $0,23, 0,15, 0,11$ или $0,09$;

n – число направлений;

m – число приемов.

Вычисленные средние (уравненные на станции) значения всех направлений и средние квадратические ошибки μ и M записывают на первой странице сводки. Здесь же записывают средние значения направлений на ориентирные пункты и дают ориентированный чертеж отнаблюденных направлений.

Лабораторная работа № 4
НАБЛЮДЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ
ПО СПОСОБУ ВСЕВОЗМОЖНЫХ КОМБИНАЦИЙ

Сущность способа заключается в том, что на пункте измеряют отдельные углы, образованные возможными комбинациями любой парой направлений, подлежащих наблюдению. При этом число измеряемых углов при n направлениях подсчитывают по формуле

$$\text{Число углов} = \frac{n(n-1)}{2}$$

Например, при четырех направлениях (рис. 1) на пункте измеряют шесть углов: (1.2), (1.3), (1.4), (2.3), (2.4) и (3.4). Каждый из этих углов измеряют определенным числом приемов, постоянным для всех углов на данном пункте. При этом все измеренные углы имеют равные веса. Нетрудно заметить (см. рис. 1), что значение каждого угла можно получить трижды: одно – непосредственно измеренное значение и два – как сумма или разность двух других непосредственно измеренных углов. Например, угол (1.2) = (1.3) – (2.3) = (1.4) – (2.4), (1.3) = (1.2) + (2.3) = (1.4) – (3.4), (1.4) = (1.2) + (2.4) = (1.3) + (3.4).

Степень доверия значениям углов, полученным из непосредственного измерения, выше, чем значениям тех же углов, полученным как сумма или разность двух других непосредственно измеренных углов.

Таким образом, после наблюдений появляется необходимость в уравнении углов на станции. Уравненный на станции угол равен среднему арифметическому из ряда неравноточных его значений, полученных из его непосредственно измеренного значения с весом два и всех остальных зна-

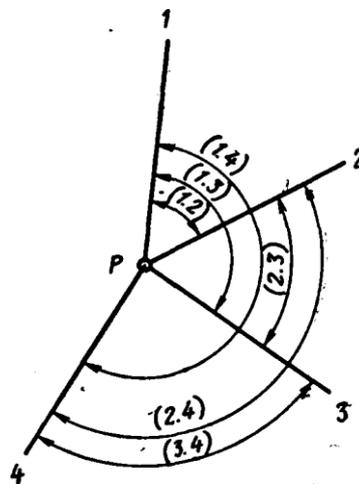


Рис. 1. Наблюдения по СВК

чений, вычисленных как сумма или разность двух других непосредственно измеренных углов с весом один.

Полученные в результате уравнения на станции вероятнейшие значения углов будут равноточны. Но веса этих вероятнейших значений углов зависят от числа наблюдаемых направлений и равны числу направлений, если углы измерялись одним приемом. Если углы измерены m приемами, то вес уравненного угла будет равен mn .

Однако, согласно требованию Инструкции, измерения в триангуляции необходимо выполнять так, чтобы веса уравненных на станции значенных измеренных направлений были одинаковыми на всех пунктах. Для обеспечения этого требования необходимо, чтобы произведение числа направлений n на число приемов m для всех пунктов сети данного класса было бы величиной постоянной, т.е. $mn = P = \text{const}$.

Эта величина, называемая весом измерений, регламентирована инструкцией и зависит от класса триангуляции и типа применяемого инструмента. Например, для триангуляции 1 класса произведение mn принимается равным 36 или 35, для триангуляции 2 класса – 21, 24, 25 для теодолитов с поверительной трубой и 28, 30, 32 для теодолитов без поверительной трубы.

Пользуясь этими данными, по известным значениям P и n определяют число приемов m для измерения углов на данном пункте. Например, если на пункте 2 класса с четырьмя направлениями необходимо выполнить наблюдения теодолитом ОТ-02 (без поверительной трубы), то число приемов для случая, когда наблюдения выполняют с простых сигналов, подсчитывают по формуле

$$m = \frac{P}{n} = \frac{24}{4} = 6.$$

Если наблюдения выполняются со сложных сигналов тем же теодолитом без поверительной трубы, тогда m будет равно

$$m = \frac{P}{n} = \frac{28}{4} = 7.$$

Таким образом, число приемов для наблюдения углов на данном пункте в каждом конкретном случае определяют в зависимости от числа направлений (берут со схемы) и значения P (выбирают из инструкции).

В целях получения независимых результатов измерений углов и ослабления влияния погрешностей делений лимба углы измеряют на разных установках горизонтального круга. При этом каждое направление должно наблюдаться при одном и том же положении лимба, по возможности только один раз. Это достигается тем, что лимб при измерении каждого угла

между приемами переставляют на угол $\sigma = \frac{180^\circ}{m}$, а между группами не примыкающих друг к другу углов – на угол $\delta = \frac{\sigma}{n-1}$ при n – четном числе

направлений и $\delta = \frac{\sigma}{n}$

n

при n – нечетном.

Для ослабления влияния короткопериодических погрешностей делений лимба к вычисленным значениям углов σ и δ , предварительно округленным до целого градуса, прибавляют угол i или $\frac{i}{2}$ где i – цена наименьшего деления лимба.

Приведенные выше формулы используют при составлении программы наблюдений на пункте.

Составление программы наблюдений начинают с расчета таблицы установок лимба для каждого угла и приема указанным выше методом (табл. 1)

Таблица 1

Таблица расчетных установок лимба $n = 4, t = 8$

Угол	Приемы							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1.2	0°00′	22°04′	45°08′	67°12′	90°16′	112°20′	135°24′	157°28′
1.3	8 04	30 08	53 12	75 16	98 20	120 24	143 28	165 32
1.4	15 08	37 12	60 16	82 20	105 24	127 28	150 32	172 36
2.3	15 08	37 12	16 16	82 20	105 24	127 28	150 32	172 36
2.4	8 04	30 08	53 12	75 16	98 20	120 24	143 28	165 32
3.4	0 00	22 04	45 08	67 12	90 16	112 20	135 24	157 28

При этом можно также воспользоваться таблицами расчетных установок лимба для любого случая, приведенными в инструкции.

Задача наблюдателя состоит в том, чтобы найти нужную таблицу установок лимба и, используя ее данные и значения измеренных до минут углов, составить таблицу так называемых рабочих установок лимба.

Порядок составления таблицы рабочих установок рассмотрим на примерах.

Пример 1. На пункте триангуляции 2 класса Ельня, имеющем четыре направления, оптическим теодолитом ОТ-02 без поверительной трубы со сложного сигнала должны быть выполнены наблюдения способом во всех комбинациях. В этом случае вес направления $P = mn = 32$, при $n = 4$ число приемов $m = \frac{32}{4} = 8$.

Угол перестановки лимба между приемами $\sigma = \frac{180^\circ}{8} + i = 22^\circ 30' + 4'$, а

$$\delta = \frac{\sigma}{n-1}$$

+ $i = 7^{\circ}30' + 4'$. Значения углов σ и δ округляют до целых градусов, в данном примере σ – до 22 и 23° и δ – до 7 и 8° . В таблице установок (см. табл. 1) эти значения углов чередуются через установку. Таблицу рабочих установок лимба составляют в следующей последовательности.

1. В подготовленный бланк таблицы для всех углов, связанных с начальным направлением (1.2, 1.3, 1.4, 1.5 и т.д.) из инструкции или из таблицы расчетных установок лимба, составленной наблюдателем, выписать значения установок лимба для левого направления каждого угла.

2. Для углов, не связанных с начальным направлением (2.3, 2.4, 2.5, 3.4, 4.5 и т.д.), рабочие установки лимба рассчитывают путем прибавления к расчетной установке величины угла, составленного начальным направлением и левым направлением данного угла.

Для углов 2.3, 2.4, 2.5 прибавляют значение угла 1.2; для углов 3.4, 3.5 – 1.3 и т.д. При этом значения углов 1.2, 1.3, 1.4 целесообразно предварительно округлять до четных значений минут при составлении программы для теодолита ОТ-02, и кратных $5'$ – для теодолитов ОТ-02М, Т1.

В нашем примере углы $1.2 = 32^{\circ}43'$, $1.3 = 106^{\circ}59'$. После округления этих углов и прибавления их к соответствующим расчетным установкам лимба таблицу рабочих установок получим в следующем виде (табл. 2).

Для теодолитов с наименьшим делением лимба i – кратным $5'$ в таблице рабочих установок число минут установки должно быть кратным $5'$.

Таблица 2

Таблица рабочих установок лимба $n = 4$, $t = 8$

Угол	Приемы							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1.2	0°00'	22°40'	45°08'	67°12'	90°16'	112°20'	135°24'	157°28'
1.3	8 04	30 08	53 12	75 16	98 20	120 24	143 28	165 32
1.4	15 08	37 12	60 16	82 20	105 24	127 28	150 32	172 36
2.3	47 50	69 54	92 58	115 02	138 06	160 10	183 14	205 18
2.4	40 46	62 50	85 54	107 58	131 02	153 06	176 10	198 14
3.4	107 00	129 04	152 08	174 12	197 16	219 20	242 24	264 28

Пример 2. На пункте триангуляции 2 класса Занино, имеющем пять направлений, теодолитом ОТ-02М с поверительной трубой необходимо выполнить наблюдения способом измерения углов во всех комбинациях. Вес направления в этом случае равен 25. При $n = 5$ число приемов $m = 5$. По приведенным выше формулам рассчитывают величину углов σ и δ . Для данного случая угол перестановки лимба между приемами

$$\sigma = \frac{180}{m} + i = 36^{\circ}05'$$

величина угла, на которую переставляют лимб при переходе к измерению следующего угла,

$$\delta = 36 + i = 7^{\circ}05'.$$

Измерив значения направлений (углов) с точностью до минут, приступают к составлению таблицы рабочих установок лимба. Пусть измеренные углы будут равны: 1.2=59°03', 1.3 = 146°14', 1.4=212°49'. Тогда таблица рабочих установок примет вид (табл. 3).

Таблица рабочих установок лимба, составленная до начала наблюдений, записывается в журнал наблюдений на специально отведенной для этой цели странице. Второй экземпляр этой таблицы во время наблюдений находится у наблюдателя, который пользуется им при установках лимба очередного приема.

Таблица 3

Таблица рабочих установок лимба на пункте Занино п = 5, т = 5

Угол	Приемы				
	I	II	III	IV	V
1.2	0°00'	36°05'	72°10'	108°15'	144°20'
1.3	7 05	43 10	79 15	115 20	151 25
1.4	14 10	50 15	86 20	122 25	158 30
1.5	21 15	57 20	93 25	129 30	165 35
2.3	73 15	109 20	145 25	181 30	217 35
2.4	80 20	116 25	152 30	188 35	224 40
2.5	87 25	123 30	159 35	195 40	231 45
3.4	174 35	210 40	246 45	282 50	318 55
3.5	146 15	182 20	218 25	254 30	290 35
4.5	219 55	256 00	292 05	328 10	364 15

Перед началом наблюдений наблюдатель, отыскивая направления на смежные пункты, подлежащие наблюдению, выбирает начальное направление. Требования к выбору начального направления в основном те же, что и при способе круговых приемов. Однако если при способе круговых приемов за начальное направление на пункте 2 класса может быть принято направление на пункт любого класса, то при измерении углов во всех комбинациях за начальное направление берется направление на пункт только 2 класса триангуляции.

Порядок работы на пункте. В процессе исполнения программы наблюдатель должен руководствоваться основными требованиями и общими правилами угловых измерений. В зависимости от условий видимости намечается такой порядок наблюдений, который максимально позволит использовать наилучшую видимость по каждому направлению. Однако в течение одной видимости (утренней или вечерней) наблюдатель должен стремиться

измерить максимальное количество разных углов. Категорически запрещается выполнять подряд измерение одного и того же угла всеми приемами. Если по какому-либо направлению видимость временно отсутствует, углы с этим направлением можно пропускать, наблюдая остальные углы. При этом число приемов, в которых данный угол не наблюдался из-за отсутствия видимости, не должно быть более 50 % общего числа приемов.

Например, на пункте с четырьмя направлениями углы наблюдают шестью приемами. Видимость по направлению 3 временно отсутствует. В этом случае наблюдатель может измерять углы 1.2, 1.4 и 2.4 тремя приемами. После этого, если видимость по направлению 3 не появится, наблюдения прекращают до появления видимости.

Измерение отдельного угла является несложной операцией, но требует большой осторожности, внимания и определенного опыта.

Измерение угла одним приемом проводится в следующей последовательности.

Первый полуприем

Подготовив теодолит к наблюдениям, наводят биссектор зрительной трубы при *КЛ* на визирную цель левого предмета, по лимбу устанавливают отсчет, соответствующий установке данного угла для данного приема (берется из табл. рабочих установок). Затем, открепив алидаду и вращая ее по ходу часовой стрелки на 360^0 , снова наводят биссектор трубы на визирную цель левого предмета. Закрепив алидаду, микрометрическим винтом, действуя на ввинчивание, точно вводят визирную цель в биссектор трубы. Головкой микрометра дважды совмещают изображения штрихов и берут отсчеты: после первого совмещения – по лимбу и оптическому микрометру, после второго – по оптическому микрометру. Далее, открепив алидаду и вращая ее по ходу часовой стрелки на величину измеряемого угла, наводят биссектор на визирную цель правого предмета и после двукратного совмещения штрихов производят отсчеты, как указано выше. На этом заканчивается первый полуприем.

Второй полуприем

Переводят трубу через зенит и, вращая алидаду по ходу часовой стрелки на 180^0 , наводят биссектор зрительной трубы на визирную цель правого предмета. После двукратного совмещения штрихов лимба дважды берут отсчеты. Затем, открепив алидаду и вращая ее по ходу часовой стрелки на величину дополнения измеряемого угла до 360^0 , наводят биссектор на визирную цель левого предмета, дважды совмещают изображения штрихов и берут отсчеты по лимбу и оптическому микрометру. Разность отсчетов по шкале оптического микрометра при двух совмещениях изображений штрихов лимба не должна превышать допусков, указанных

для способа круговых приемов. На этом заканчивают измерение угла одним приемом.

Нетрудно заметить, что в процессе измерения угла полным приемом алидаду вращают только в одном направлении. Инструкцией рекомендуется половину программы наблюдать при вращении алидады по ходу часовой стрелки, вторую половину – против хода часовой стрелки. В практике наблюдений все углы нечетных приемов принято измерять вращением алидады по ходу часовой стрелки, четных приемов – против хода часовой стрелки.

Результаты измерения углов способом Шрейбера записывают в журнале установленной формы (табл. 4).

Таблица 4

Журнал измерения углов во всех комбинациях
 Теодолит ОТ-02 Дата 15. IV. 2007г. 16 ч. 24 мин.
 Погода – облачно, ветер – тихо, $t^0 = +15^0$, Видимость – удовлетв.
 Изображение спокойное

Угол, прием	Круг	№ направления, визирная цель	Отсчеты		Значения в полуприеме		Среднее значение угла
			по штрихам лимба	по шкале микрометра	направления	угла	
1	2	3	4	5	6	7	8
	Л	1 в.ц.*	14 ⁰ 08'	12,7			
				12,3	08'25,0"	48'57,0"	
1,4		4 в.ц.	226 56	40,9			
				41,1	57 22,0		212 ⁰ 48'55,4"
1	П	4	46 56	41,9			
				41,7	57 23,6		
		1	194 08	15,0		48 53,7	
				14,9	08 29,9		
							$\Delta_{Л-П} = +3,3''$

* в. ц. – визирная цель

Обработка результатов угловых измерений ведется в журнале в процессе наблюдений помощником. В графе 1 (см. табл. 4) записывают наименование измеряемого угла и № приема. В графе 3 указывают № направления и характеристику визирной цели. В графе 4 и 5 записывают отсчеты по лимбу и оптическому микрометру. В графах 6 и 7 записывают значения в полуприеме направлений и угла, вычисленных по результатам наблюдений. В графе 8 дается среднее значение угла, выведенное из двух полуприемов. В конце приема для контроля выписывают значение разности угла в полуприемах $\Delta_{Л-П}$. Величина расхождения значения углов из двух полуприемов каждого приема не должна быть более 8" для теодолита ОТ-

02 и ему равноточных.

Результаты измерений углов во всех комбинациях должны находиться в пределах допусков, приведенных в табл. 5.

Таблица 5

Допуски при измерении углов во всех комбинациях

Элементы наблюдений, к которым относятся допуски	Пункты триангуляции		Число направлений	
	1 класса	2 класса	до 5	6 и более
Расхождение значений одного и того же угла из разных приемов	4"	5"	–	–
Колебания средних значений одного и того же угла, вычисленных по результатам его непосредственных измерений и полученных как сумма или разность двух других непосредственно измеренных углов	–	–	3"	4"

Измеренные углы, не удовлетворяющие этим допускам, подлежат перенаблюдению на тех же установках лимба. Повторные наблюдения недоброкачественных приемов выполняют после окончания программы наблюдений на пункте и выполнения тщательного контроля всех приемов. Если значения какого-либо угла из разных приемов расходятся между собой более допустимой величины, то переделке подлежат приемы, имеющие как максимальное, Допуски при измерении углов во всех комбинациях так и минимальное значения угла.

Например, угол 2.3 (2 класса триангуляции), измеренный шестью приемами, имеет средние значения в приемах: I – 7,1"; II – 4,6"; III – 8,7"; IV – 4,0"; V – 3,0"; VI – 5,1". Значения угла в III и V приемах расходятся между собой на 5,7" (допуск 5"). Таким образом, перенаблюдению подлежит угол 2.3 на установках III и V приемов. Такое бисирование называют двусторонним. Иногда разрешается одностороннее бисирование, когда значение угла какого-либо приема грубо отличается от остальных значений этого угла. Приемы, требующие повторного бисирования, рекомендуется переделывать на измененной установке лимба.

Если число повторных приемов превышает 30 % от количества приемов, предусмотренных программой, то наблюдения всей программы на данном пункте выполняют заново.

Первоначальные значения всех переделанных приемов в обработку не включают. Порядок дальнейшей обработки угловых измерений рассмотрен в лабораторной работе № 5.

Сравнивая два основных способа угловых измерений, необходимо отметить, что каждый из рассмотренных способов имеет свои преимущества

и недостатки. Способ измерения углов во всех комбинациях более трудоемкий, чем способ круговых приемов (способ Струве). Однако способ во всех комбинациях позволяет измерять углы в любой последовательности, выбирать для наблюдений наиболее благоприятные условия видимости, не требует одновременной хорошей видимости по всем направлениям и менее требователен к жесткости знака, т.к. прием длится 2 – 4 мин.

При большем числе направлений (7 – 8 и более) способ измерения углов во всех комбинациях (Шрейбера) становится неэффективным. При этом значительно возрастает число подлежащих измерению углов, а число приемов сокращается до 3 – 4. По 3 – 4 приемам становится трудно судить о качестве измерений, затрудняется выбор приема, подлежащего переделке при неудовлетворении допусков.

Лабораторная работа № 5

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕ- НИЙ В СПОСОБЕ ВСЕВОЗМОЖНЫХ КОМБИНАЦИЙ

Таблица 1

Сводка результатов измерений горизонтальных углов на пункте Полигонный
М 129

(способом измерения углов во всех комбинациях)

Триангуляция 2 класса 1974 г.

Наблюдатель – Валишев В.

Инструмент – ОГ-02М № 21512

Журнал № 1

Чертеж направлений

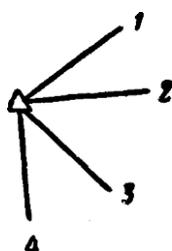
Тип знака – сложный сигнал

Высота над маркой верхнего центра:

столика для приборов 15,32 м

горизонтальной оси теодолита 15,67 м

верха визирной цели 18,95 м



Наблюдения выполнены с 15 по 17.V.1974 г.

№ пункта	Названия направлений	Уравненные на станции направления, 0' "	$(c'' + r'')$, "	Приведенные к центрам направления, 0' "	Число направлений и приемов, вес направления, СКО
1	Лесной	0 00 00,00			$n = 4$
2	Дальний	44 15 30,76			$m = 6$
3	Басандайка	93 48 08,47			
4	Утес	141 33 10,06			$nm = 24$
					$\mu = \pm 1,37''$
					$M = \pm 0,28$

Вывод средних направлений на пункте Полигонный
Начальное направление Лесной

Дата наблюдения	№ приема	Установка лимба, 0'	Значение угла, "		
			I полуприем	II полуприем	Среднее
Угол 1.2 ($44^{\circ}15'$)					
15.05.1973 г.	I	0 00			
- // -	II	30 05			
- // -	III	60 10	34,3	27,0	30,6
- // -	IV	90 15	31,2	30,0	30,6
16.05.1973 г.	V	120 20	31,7	29,1	30,4
- // -	VI	150 25	28,3	32,2	30,2
17.05.1973 г.		0 00	26,7	30,5	28,6
- // -		30 05	32,2	30,8	31,5
		Среднее	30,43	30,22	30,32

Окончание табл. 1

Угол 1.4 (141°33')					
15.05.1973 г.	I	20 10	09,1	06,7	07,9
-//-	II	50 15	11,5	10,8	11,2
-//-	III	80 20	09,5	12,5	11,0
-//-	IV	110 25	09,7	08,1	08,9
16.05.1973 г.	V	140 30	14,7	10,5	12,6
-//-	VI	170 35	09,6	08,3	09,0
Среднее			10,68	09,48	10,10
Угол 2.4 (97°18')					
16.05.1973г.	I	54 20	40,7	35,2	38,0
-//-	II	84 25	42,2	41,4	41,8
-//-	III	114 30	36,4	36,3	36,4
16.05.1973г.	IV	144 35	39,7	41,2	40,4
-//-	V	174 40	39,0	42,1	40,6
-//-	VI	204 45	38,8	41,3	40,0
Среднее			39,47	39,58	39,53
Угол 1.3 (93°48')					
16.05.1973г.	I	10 05	07,7	09,9	08,8
-//-	II	40 10	07,5	08,5	08,0
-//-	III	70 15	09,0	08,6	08,8
16.05.1973г.	IV	100 20	08,6	06,6	07,6
-//-	V	130 25	09,4	09,4	09,4
-//-	VI	160 30	11,3	09,8	10,6
Среднее			08,92	08,80	08,87
Угол 2.3 (49°33')					
15.05.1973г.	I	64 25	36,5	35,7	36,1
-//-	II	94 30	37,6	35,8	36,7
-//-	III	124 35	32,3	35,5	33,9
-//-	IV	154 40	41,8	36,7	39,2
16.05.1973г.	V	184 45	38,8	39,8	39,3
-//-	VI	214 50	39,2	34,7	37,0
		124 35	33,6	36,4	35,0
		184 45	37,3	39,2	38,2
Среднее			37,67	36,42	37,03
Угол 3.4(47°45')					
15.05.1973г.	I	98 48	00,1	02,7	01,4
-//-	II	123 53	00,4	02,6	01,5
-//-	III	153 58	01,0	00,5	00,8
16.05.1973г.	IV	184 03	02,9	00,0	01,4
-//-	V	214 08	04,5	02,4	03,4
-//-	VI	224 13	01,6	15'57,2"	15'59,4"
Среднее			01,75	00,90	01,32

Уравнивание измеренных углов на станции

1.2	1.3	1.4	2.3	2.4	3.4
30,32	08,87	10,10	37,03	39,53	01,32
30,32	08,87	10,10	37,03	39,53	01,32
30,57	08,78	09,85	38,21	39,78	01,23
31,84	07,35	10,19	38,55	38,35	02,50
Среднее					
30,76	08,47	10,06	37,71	39,30	01,59
$\nu = -0,44$	+0,40	+0,04	-0,68	+0,23	-0,27
$\Sigma \nu^2 = 0,9434$					

Сводку составил: П.Н. Ефимов

Проверил: В.В. Валишев

Получив средние значения всех измеренных углов, приступают к уравниванию их на станции. Для этого в форму, расположенную в конце «сводки результатов», выписывают в соответствующие графы средние значения измеренных углов. В соответствии с правилом уравнивания угла на станции средние значения каждого измеренного угла записывают дважды, т.е. с весом 2. Затем вычисляют значения углов из комбинаций и их результаты записывают в соответствующие им графы. По этим значениям, два из которых непосредственно измерены, а остальные получены как сумма или разность 2-х измеренных углов, вычисляют уравненные на станции значения каждого угла (см. табл. 1). При этом колебания средних значений одного и того же угла, полученных из непосредственно измеренных его значений и вычисленных из комбинаций, не должны превышать 3 или 4", что зависит от числа направлений на пункте.

Контроль уравненного значения каждого угла выполняют так же, как при вычислении углов из комбинаций, только значение уравненного угла при этом вычисляют как сумму или разность двух других уравненных углов. Расхождение уравненного угла с любой комбинацией его допускается в пределах 0,01".

Убедившись в правильности выполненного уравнивания на станции, вычисляют для каждого угла разность между непосредственно измеренным его значением и уравненным (v) и производят оценку точности.

Средняя квадратическая погрешность угла из одного приема вычисляется по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{2m \sum vv}{(n-1)(n-2)}}.$$

Средняя квадратическая погрешность направления, уравненного на станции,

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{mn}},$$

где m – число приемов;
 n – число направлений.

Лабораторная работа № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНЫ ДЕЛЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПО РЕЙКЕ

Действующая инструкция требует проводить полные лабораторные поверки и исследования нивелира по получении его с завода и после капитального ремонта. До выезда на работы исполнитель должен произвести так называемые полевые поверки и исследования нивелира. К исследованиям относятся:

- определение цены деления цилиндрического уровня по рейке;
- определение погрешности совмещения изображений концов пузырька уровня по рейке;
- определение цены деления отсчетного барабана для разных расстояний до рейки;
- определение коэффициента дальномера и асимметрии нитей.

Необходимо помнить, что каждое исследование имеет смысл только при условии выполнения его по полной программе, предусмотренной инструкцией.

Определение цены деления цилиндрического уровня по рейке. Такое исследование ставится с целью определения, достаточна ли точность уровня прибора для выполнения нивелирования II класса.

Если наводить трубу на два соседних штриха рейки и при каждом наведении на штрих брать отсчеты по концам пузырька уровня, то значение угла α (рис. 1) можно вычислить двумя способами. С одной стороны, учитывая малость l , найдем

$$\alpha'' = \frac{l\rho''}{S}, \quad (1)$$

с другой стороны, наклону оси уровня на угол α соответствует перемещение пузырька уровня на n полуделений его шкалы, т.е.

$$\alpha'' = \frac{\tau''}{2} \cdot n, \quad (2)$$

где τ – цена деления уровня.

Сопоставляя равенства (1) и (2), находим, что

$$\frac{\tau''}{2} \cdot n = \frac{l\rho''}{S},$$

откуда

$$\frac{\tau''}{2} = \frac{l\rho''}{Sn},$$

где S – измеренное расстояние от нивелира до рейки в полумиллиметрах.

Выполняется исследование в тихую и желательно пасмурную погоду. За два часа до начала исследований нивелир устанавливают на трех забитых в землю кольях и защищают зонтам от солнца. На расстоянии 40 – 50 м забивают прочно в землю два кола, один выше другого на 15 – 20 см. В колья вбивают кованые гвозди с овальной шляпкой. Для наблюдения за температурой подвешивают в тени термометр. Следят за длиной пузырька уровня, величина изменения длины которого не должна превосходить 0,2 мм на 1 °С.

Программа исследования состоит из четырех приемов, каждый из которых включает два полуприема. В нечетных приемах рейка ставится на первый кол, в четных – на второй. Рекомендуется два приема сделать в первой половине дня, два других – во второй, по возможности при другой температуре воздуха.

Рассмотрим порядок работы в одном приеме.

Приводят нивелир в рабочее положение, наводят трубу на рейку. Записывают температуру воздуха и длину пузырька уровня. Результаты измерений записывают в ведомость (табл. 1).

Затем, действуя элевационным винтом, точно совмещают биссектор нитей сетки с одним из штрихов рейки так, чтобы в этот момент концы пузырька уровня заняли противоположные крайние положения. Можно использовать штрихи как основной, так и дополнительной шкал. Например, пузырьки заняли положение, показанное на рис. 2, а.

Совмещать штрих с биссектором элевационным винтом надо на ввинчивание.

Подождав, чтобы уровень установился, берут отсчеты по левому и правому его концам. Далее элевационным винтом точно наводят биссектор нитей сетки на смежный штрих рейки, но при этом концы пузырька уровня должны сблизиться (рис. 2, б).

Записав отсчеты по концам пузырька и продолжая вращение элевационного винта в том же направлении, наводят биссектор на третий штрих рейки. Тогда пузырьки займут положение, показанное на рис. 2, в.

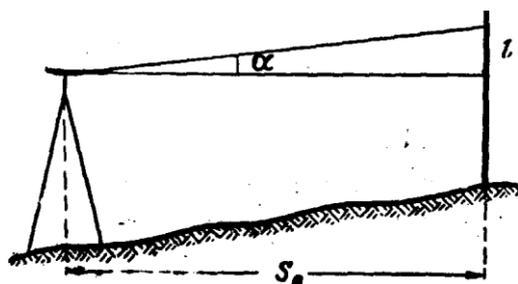


Рис. 1

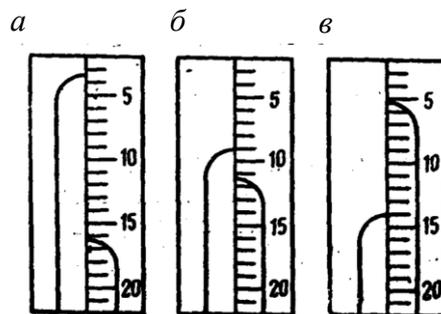


Рис. 2

Таблица 1

Определение цены деления уровня по рейке

Нивелир НА-1 № 01652

На шкале уровня 25 делений; подпись делений от 0 до 25; нуль делений со стороны объектива
 Расстояние до рейки 46,52 м Дата 4. VI. 1971 г. Время 8^h15^m

№ приема	Длина пузыряшка уровня, мм	i^0 воздуха	Отсчеты по рейке	Отсчеты по рейке				П-Л		Среднее П-Л	Расстояние по рейке, 1/2 мм	Число полуделений уровня
				прямой ход		обратный ход		прямой ход	обратный ход			
				Л	П	Л	П					
I	70,2	+15,3	30,6	4,2 – 17,1	4,2 – 17,2	+12,9	+13,0	+12,95	10	11,10		
			30,7	9,7 – 11,6	9,8 – 11,6	+1,9	+1,8	+1,85	10	10,70		
			30,8	15,1 – 6,3	15,2 – 6,3	-8,8	-8,9	-8,85				
	70,2	+15,7	30,6	4,3 – 17,1	4,3 – 17,1	+12,8	+12,9	+12,85	10	11,05		
			30,7	9,9 – 11,7	9,9 – 11,7	+1,8	+1,8	+1,80	10	10,75		
			30,8	15,2 – 6,3	15,2 – 6,3	-8,9	-9,0	-8,95				
	70,1	+16,0										
	II	70,1	+16,3	58,4	58,4 – 70,1	58,6 – 70,2	+11,7	+11,6	-11,65	40	13,60	
				30,3	5,7 – 16,0	5,7 – 15,9	+10,3	+10,2	+10,25	10	11,10	
30,4				11,1 – 10,2	11,1 – 10,3	-0,9	-0,8	-0,85				
70,0		+16,4	30,5	16,6 – 5,0	16,5 – 4,8	-11,7	-11,7	-11,65	10	10,80		
			30,3	5,7 – 15,8	5,6 – 15,8	+10,1	+10,2	+10,15	10	11,00		
			30,4	11,1 – 10,2	11,0 – 10,2	-0,9	-0,8	-0,85	10	10,85		
70,0		+16,5	30,5	16,6 – 4,9	16,6 – 4,9	-11,7	-11,7	-11,70				
					66,8 – 62,1	66,5 – 61,9	- 4,7	- 4,6	-4,65	40	43,75	
III									40	43,65		
IV	Последние два приема выполнены в вечернее время, приведены только конечные результаты								40	43,75		
Сумма из четырех приемов				160				174,75				
				$\tau'' = \frac{160 \cdot 206265}{2 \cdot 174,75 \cdot 93040} = 2,03'' \text{ на } 0,8 \text{ мм,}$								
				$\tau'' = 2,03'' \cdot 2 \cdot 2,5 = 10,2'' \text{ на } 2 \text{ мм} < 12''.$								

Берут отсчеты по концам пузырька уровня и записывают. На этом прямой ход заканчивается.

Сразу же приступают к наблюдению обратного хода. Для этого элевационный винт двигают на четверть оборота в том же направлении, а затем, сменив его вращение на обратное, вводят в биссектор нитей сетки те же штрихи рейки, только в обратной их последовательности. Начинают с третьего штриха. При каждом совмещении берут отсчеты. Прямой и обратный ходы вместе составляют полуприем. Закончив его, снова записывают температуру воздуха и измеряют длину пузырька уровня.

Переходя ко второму полуприему, надо немного изменить горизонт инструмента. Это можно сделать или подъемными винтами, или поворотом на несколько делений отсчетного барабана. При выполнении полуприема отсчетный барабан не трогать.

Как второй полуприем, так и все остальные выполняются аналогично первому полуприему. Переходя ко второму приему, следует рейку переставить на второй кол.

На протяжении четырех приемов визирный луч трубы переместился по рейке на величину $l = 160$ полумиллиметров, что соответствует перемещению пузырька уровня на число полуделений уровня $n = 174,75$ (см. табл. 1). Тогда

$$\frac{\tau''}{2} = \frac{160 \cdot 206265}{174,75 \cdot 93040} = 2,03'',$$

отсюда $\tau'' = 4,06''$ на 0,8 мм или $10,2''$ на 2 мм, что удовлетворяет требованию инструкции по нивелированию II класса.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Яковлев, Н.В. Высшая геодезия: учеб. для вузов / Н.В. Яковлев. – М.: Недра, 1989. – 449 с.
2. Закатов, П.С. Курс высшей геодезии / П.С. Закатов. – М.: Недра, 1976. – 510 с.
3. Болотов, П.А. Практикум по основным геодезическим работам / П.А. Болотов, С.В. Шубин, И.А. Райман. – М.: Недра.

Дополнительная

4. Яковлев, Н.В. Практикум по высшей геодезии / Н. В. Яковлев. – М.: Недра, 1980. – 300 с.
5. Захаров, А.И. Геодезические приборы: справ. / А.И. Захаров. – М.: Недра, 1998. – 314 с.
6. Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР. – М.: Недра, 1966.
7. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: Недра, 1991.
8. Нивелирование I и II классов. Практическое руководство. – М.: Недра, 1982.
9. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации ГКИНП (ГНТА) – 01-006-03. – М., 2004. – 28 с.