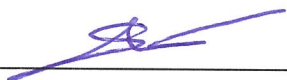


ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ


Руководитель программы
аспирантуры
профессор М.Г. Мустафин

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО
ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
ГЕОДЕЗИЯ

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Область науки:	1. Естественные науки
Группа научных специальностей:	1.6. Науки о Земле и окружающей среде
Научная специальность:	1.6.22. Геодезия
Отрасли науки:	Технические
Форма освоения программы аспирантуры:	Очная
Срок освоения программы аспирантуры:	3 года
Составитель:	д.т.н., проф. М.Г. Мустафин

Санкт-Петербург

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Геодезия» является частью основной образовательной программы подготовки специалистов по специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия», специализации «Инженерная геодезия» и изучается студентами Горного университета на 2 курсе. В задачу курса входит изучение методов сгущения плановых и высотных геодезических сетей для обоснования топографических съемок в масштабе 1:5000 – 1:500 и других инженерно-геодезических работ. Высотную сеть сгущения создают методом геометрического нивелирования III и IV классов.

В данном издании приведены методические указания к лабораторным работам по выполнению нивелирования III класса точности, а также обработке результатов измерений. Лабораторные работы выполняются как в бригадах, так и индивидуально. Отчет по лабораторным работам оформляется на листе формата А4 или на бланке, выдаваемом преподавателем. Форма контроля освоения лабораторных работ – индивидуальный зачет в форме беседы и ответов на контрольные вопросы.

Для успешного освоения данного курса студент должен обладать знаниями и умениями, приобретенными на дисциплине «Геодезия» на 1 курсе и на учебной полевой практике.

Работа 1. ПРОВЕРКИ ТОЧНЫХ НИВЕЛИРОВ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ УРОВНЕМ ПРИ ТРУБЕ

Состав работы: изучить устройство нивелира с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе, схему геометрических осей. Выполнить проверку круглого и цилиндрического уровня, проверку установки сетки нитей.

Приборы и принадлежности: нивелир Н-3, нивелирная рейка с шашечными делениями, башмаки.

Порядок выполнения работы.

К точным нивелирам относятся нивелиры, обеспечивающие точность измерения превышений со средней квадратической ошибкой измерения превышения 3 мм на 1 км двойного хода. Это нивелиры Н-3, Н-3К, НВ-1 и им подобные. Среди точных нивелиров есть нивелиры с уровнем при трубе и нивелиры с компенсатором малых углов наклона зрительной трубы.

Нивелиры с уровнем при трубе должны отвечать следующим геометрическим условиям (рис.1):

- ось $U'U'_1$ круглого уровня должна быть параллельна оси ZZ_1 вращения нивелира;

- горизонтальная нить сетки SS_1 нитей должна быть перпендикулярна оси ZZ_1 вращения прибора;

- ось UU_1 цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси VV_1 (главное условие), т. е. при работе на станции визирный луч нивелира должен быть горизонтален.

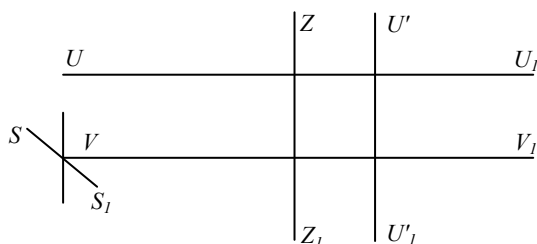


Рис.1. Схема геометрических осей нивелира Н-3

С целью выявления данных геометрических условий выполняются проверки нивелира.

1-я проверка (Проверка круглого уровня, $U'U' \parallel ZZ_1$).

Для выполнения проверки с помощью подъёмных винтов приводят пузырёк круглого уровня в нуль-пункт, затем поворачивают нивелир по азимуту на 180° . Если пузырёк отклонился от нуля - пункта более, чем на 0,3 деления, то его приводят в исходное положение, устраняя половину смещения исправительными винтами уровня, а половину подъёмными винтами подставки. Существует и другой, более удобный способ проверки круглого уровня: сначала тщательно устанавливают ось вращения нивелира в отвесное положение с помощью элевационного винта и цилиндрического уровня при трубе, затем юстировочными винтами круглого уровня приводят его пузырёк в нуль-пункт.

2-я проверка (Проверка установки сетки нитей, $SS_1 \parallel ZZ_1$).

Проверку можно выполнять с помощью отвеса или рейки.

В первом случае приводят нивелир в рабочее положение по круглому уровню и наводят вертикальную нить сетки на шнур подвешенного в 10-15 м от него отвеса. Если указанные линии не совместить и расхождение более чем двойная толщина нити – сетку нитей разворачивают.

Во втором случае в 10 метрах от нивелира на колышек устанавливают рейку и наводят на нее среднюю нить сетки нитей. Медленно вращая трубу по азимуту при помощи наводящего винта следят, не изменяется ли отсчет по краям средней нити. Они должны быть одинаковыми с точностью до погрешности отсчитывания.

3-я проверка (Проверка главного условия, $UU_1 \parallel VV_1$)

Угол i , т.е. проекция на отвесную плоскость угла между осью уровня и визирной осью трубы, должен быть меньше $10''$.

Проверку можно производить двойным нивелированием вперед с концов линии длиной 50 м

Для этого на ровном участке на линии устанавливают два башмака (или забивают костыли в землю). Затем рядом с одним из башмаков устанавливают нивелир, а на другом – рейку. Приводят нивелир в рабочее положение, наводят нивелир на дальнюю рейку, элевационным винтом совмещают изображения концов цилиндриче-

ского уровня и берут отсчет b_1 по средней нити нивелира и измеряют высоту прибора i_1 при помощи рейки между головкой башмака и центром окуляра с ошибкой 1 мм. Затем переносят нивелир ко второму башмаку и выполняют измерения, аналогичные измерениям на первой станции. Получают отсчеты b_2 и i_2 . искомый угол i вычисляют по формуле

$$x = 0,5 \cdot (i_1 + i_2) - 0,5 \cdot (b_1 + b_2), \quad i = x \rho'' / L.$$

Таблица 1

Определение угла i нивелира Н-3 № 14807

$L=50,00$ м

№ приема	№ башмака	Высота нивелира i (в делениях рейки)	Отсчеты по дальней рейке b (в делениях рейки)	x , мм	Угол i
1	1	1161	1244		
	2	1398	1312		
		2559	2556	+1,5	+6,2"
2	1	1234	1318		
	2	1206	1118		
		2440	2436	+2,0	+8,2"
					+7,2"

При исследовании нивелиров делают 2 приема. Если среднее значение угла i больше 10", то исправляют положение цилиндрического уровня.

Работа 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ И ЦЕНЫ ДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ПРИ ТРУБЕ

Состав работы: определить увеличение зрительной трубы нивелира по способу Галилея, выполнить прямой и обратный ход определения цены деления цилиндрического уровня и вычислить среднее значение цены деления.

Приборы и принадлежности: нивелир 2Н-3Л, нивелирная рейка с шашечными делениями, металлическая рулетка с миллиметровыми делениями.

Порядок выполнения работы.

Определение увеличения зрительной трубы.

Увеличение трубы – это отношение фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра. Его можно определить в полевых условиях. Для этого нивелир устанавливают на штатив или консоль, приводят в рабочее положение. В 6-10 метрах от него устанавливают рейку с сантиметровыми делениями. Наводя трубу на рейку, необходимо сосчитать, сколько делений рейки, видимой невооруженным глазом, укладывается в изображении одного деления рейки в трубе нивелира, – это и будет увеличение трубы (рис. 2). Для этого нужно смотреть одним глазом на рейку, другим – на изображение рейки в трубе нивелира, и накладывать изображение рейки в трубе на рейку, видимую помимо трубы.

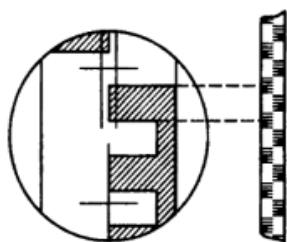


Рис.2. Определение увеличения зрительной трубы

Для определения превышений на станции нивелирования III класса увеличение зрительной трубы нивелира должно быть не менее 24^{\times} .

Определение цены деления цилиндрического уровня.

Цена деления уровня τ зависит от изменения температуры воздуха. Поэтому перед выездом на полевые работы необходимо убедиться, изменяется ли цена деления уровня и в каких пределах.

Перед выполнением исследования изучают шкалу цилиндрического уровня нивелира, перерисовывают ее в бланк лабораторной работы и оцифровывают ее так, чтобы удлиненные штрихи были кратны пяти. Направление оцифровки – произвольное.

Нивелир устанавливают на штатив и приводят его в рабочее положение. На расстоянии 50 м от нивелира на местности устанавливают вертикально рейку или на расстоянии 15-20 м в помещении закрепляют вертикально металлическую рулетку с миллиметровыми делениями. Наведя зрительную трубу на рейку или рулетку, необходимо элевационным винтом наклонить трубу так, чтобы пузырек уровня при трубе находился в левом краю шкалы уровня и взять отсчеты по шкале уровня по левому L_1 и правому P_1 концам пузырька с точностью до одной десятой деления и отсчет по рейке N_1 в миллиметрах с точностью до одного миллиметра или по шкале рулетки с точностью до одной десятой миллиметра. Записывают отсчеты в журнал (табл. 2). После этого элевационным винтом трубы наклоняют трубу так, чтобы пузырек уровня переместился на правый край шкалы и берут такие же три отсчета L_2 , P_2 и N_2 . Все эти действия составляют измерения для определения цены деления в прямом ходе. В обратном ходе немного наклоняют трубу элевационным винтом относительно последнего положения пузырька уровня и берут три отсчета при положении пузырька уровня на правом краю шкалы и затем – на левом краю. Перед вычислениями необходимо выполнить контроль правильности отсчетов по шкале уровня. Для этого необходимо найти полусуммы отсчетов по краям пузырька Y_1 и Y_2 . Эти значения должны быть одинаковы или различаться в пределах 0,5 цены деления шкалы уровня. По разностям Δb между Y_1 и Y_2 и разности отсчетов по рейке или рулетке N_1 и N_2 определяют цену деления уровня τ по формуле

$$\tau = \frac{\Delta N \cdot \rho''}{S \cdot \Delta b},$$

где $\rho'' = 206265''$, $\Delta N = |N_2 - N_1|$, $\Delta b = |Y_2 - Y_1|$,

а $Y_1 = \frac{L_1 + P_1}{2}$ и $Y_2 = \frac{L_2 + P_2}{2}$.

Расстояние от нивелира до рулетки или рейки S измеряют по нитяному дальномеру и подставляют в формулу в миллиметрах.

Таблица 2

**Определение цены деления цилиндрического уровня
Нивелир Н-3 № 14807**

Ход	Отсчеты по уровню						Δb	Отсчет по шкале рулетки, мм		ΔN , мм
	L_1	$П_1$	$У_1$	L_2	$П_2$	$У_2$		N_1	N_2	
	Пр.	0,4	11,7	6,0	13,0	24,2		18,6	12,6	
Обр.	1,3	12,3	6,8	13,5	24,9	19,2	12,4	146,8	158,9	12,1

$$S=9100 \text{ мм} \quad \tau_{\text{пр}}=21,3'' \quad \tau_{\text{обр}}=22,1'' \quad \tau_{\text{ср}}=21,7''$$

Цена деления цилиндрического уровня точных нивелиров для нивелирования III и IV класса не должна превышать 30''.

Работа 3. ИССЛЕДОВАНИЕ НИВЕЛИРА С КОМПЕНСАТОРОМ

Состав работы: ознакомиться с устройством нивелира с компенсатором и методикой работы с ними. Выполнить определение качества работы компенсатора.

Приборы и принадлежности: нивелир Setl AT-20D, две металлические рулетки с миллиметровыми делениями.

Порядок выполнения работы.

Нивелир с компенсатором снабжается только круглым уровнем для грубого приведения визирной оси в горизонтальное положение. Горизонтальность линии визирования обеспечивается автоматическим компенсатором наклона. Компенсаторы наклона позволяют повысить точность и производительность труда, дают возможность работать на неустойчивых грунтах.

Главное условие нивелира с компенсатором: визирная ось зрительной трубы в пределах работы компенсатора должна быть горизонтальна.

Компенсаторы должны обеспечивать горизонтальность визирной оси с необходимой точностью. Для ее определения выполняют следующие исследования нивелира с компенсатором: определение

средней квадратической ошибки (СКО) установки оси вращения нивелира в вертикальное положение, определение диапазона и СКО самоустановки визирной линии трубы в горизонтальное положение, определение систематической ошибки компенсации и времени затухания колебаний подвесной системы компенсатора. Все исследования нивелира с компенсатором в лабораторных условиях определяют с помощью экзаменатора или автоколлиматора. Однако в полевых условиях, используя нивелирные рейки или подвешенные вертикально рулетки, можно определить время затухания колебаний подвесной системы компенсатора и диапазон его работы, а также систематическую ошибку компенсации.

Исследование времени затухания компенсатора.

Перед началом работы необходимо привести нивелир в рабочее положение, и навести на рейку или рулетку и взять отсчет по горизонтальной нити сетки нитей. Затем легким постукиванием по его корпусу в районе окулярной части убедиться в работоспособности компенсатора. Если при постукивании наблюдается смещение горизонтальной нити с отсчета, а затем ее возврат, компенсатор работоспособен. Значение времени затухания колебаний сетки нитей допускается не более 2 с.

Исследование диапазона работы компенсатора

Предел работы компенсатора определяется по круглому уровню следующим образом. Нивелир тщательно приводится в рабочее положение по круглому уровню и зрительная труба наводится на рейку (рулетку), установленную на расстоянии 5 – 10 м по направлению одного из подъемных винтов. Затем наблюдатель плавным вращением подъемного винта производит наклон нивелира в продольном направлении до тех пор, пока отсчет по рейке резко не изменится. После этого визуально фиксируется по круглому уровню величина отклонения его пузырька. Аналогичные действия выполняются при наклоне нивелира в поперечном направлении. Зная цену деления круглого уровня, можно определить предел работы компенсатора с ошибкой 1' – 2'.

Исследование систематической погрешности работы компенсатора.

Нивелир устанавливают строго в створе между двумя рейками. При нивелировании III класса систематическую ошибку компенса-

ции визирной оси нивелира определяют при расстояниях до реек 50 м и 100 м. В лабораторных условиях расстояние от нивелира до реек уменьшают и вместо реек применяют металлические рулетки с миллиметровыми делениями. После установки нивелир приводят в рабочее положение и измеряют превышения между точками установки реек (рулеток) при пяти положениях круглого уровня (рис.3). Наклон нивелира осуществляют подъемными винтами на полный диапазон работы компенсатора.

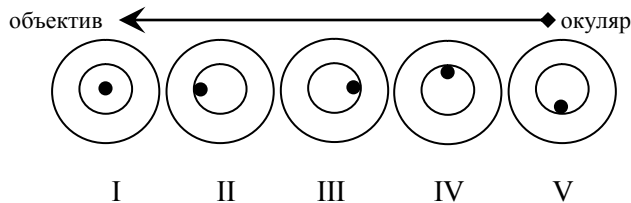


Рис.3. Схема положений пузырька круглого уровня при исследовании компенсатора

Наблюдения выполняют сериями, общее число которых равно пяти. Перед новой серией рекомендуется изменить высоту нивелира.

Превышение h_0 между рейками при положении пузырька круглого уровня в нуль-пункте считается основным. После измерения превышений h_i в продольном и поперечном наклоне вычисляют разности превышений относительно основного и вычисляют систематическую ошибку работы компенсатора σ в секундах наклона визирной оси трубы на минуту наклона оси вращения нивелира по формуле

$$\sigma_k = \frac{h_i - h_0}{2 \cdot S \cdot v},$$

где S – среднее расстояние от нивелира до реек в миллиметрах, v_i – наклон оси вращения нивелира в минутах (обычно соответствует цене деления круглого уровня), $\rho'' = 206265''$.

Пример оформления исследования систематической ошибки работы компенсатора представлен в таблице 3.

Таблица 3

Определение систематической ошибки работы компенсатора нивелира

Дата: 24.09.17 Нивелир Setl AT-20D, № 14567
 S = 12,5 м

Номер серии	Пузырек уровня в нуль-пункте	Превышение, мм			
		Продольный наклон		Поперечный наклон	
		+10'	-10'	+10'	-10'
1	1575,4	1575,4	1575,6	1575,4	1575,7
2	1576,0	1575,8	1576,0	1575,8	1576,0
3	1575,5	1575,3	1575,6	1575,4	1575,8
4	1575,9	1575,0	1576,2	1575,7	1575,9
5	1575,4	1575,5	1575,6	1575,2	1575,8
$h_{ср}$, мм	1575,7	1575,4	1575,8	1575,5	1575,9
Δh , мм	–	-0,3	+0,1	-0,2	+0,2
σ , ‰	–	-0,24	+0,08	-0,16	+0,16

Если систематическая ошибка σ работы компенсатора нивелира превышает $0,3$ ‰, то нивелир нельзя использовать при нивелировании III класса и его необходимо юстировать в мастерской.

Работа 4. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОВЫХ ДЕЛЕНИЙ НИВЕЛИРНЫХ РЕЕК

Состав работы: изучить шкалу контрольной линейки и методику исследования реек для нивелирования III и IV классов, вычислить среднюю длину одного метра на черной стороне рейки.

Приборы и принадлежности: нивелирная рейка РН-3, контрольная линейка.

Порядок выполнения работы.

Контрольная линейка, применяемая для исследования нивелирных реек, представляет собой металлическую пластину длиной 1000 мм со скошенными краями, на одном из которых нанесены деления через 1 мм, а на другом через 0,2 мм, то есть каждый миллиметр разделён штрихами на 5 частей. Для исследований берётся шкала с ценой деления 0,2 мм. Отсчёты берутся с помощью двух луп, перемещающихся вдоль линейки. При отсчитывании с помо-

щью лупы наименьшее деление, равное 0,2 мм, делится на глаз на 10 частей, то есть отсчёты берутся с точностью 0,02 мм. Отсчёты по линейке могут быть только чётными цифрами. Пример взятия отсчета приведен на рисунке 4.

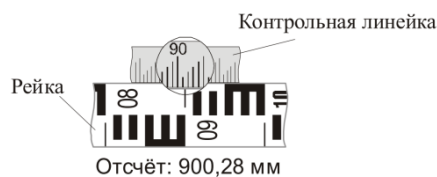


Рис. 4. Отсчет по шкале контрольной линейки

Контрольная линейка снабжена термометром для измерения температуры окружающей среды в момент проведения исследования. Каждая контрольная линейка имеет уравнение, которое используется при измерении интервалов реек для нахождения поправок за температуру.

Рейку исследуют в трех интервалах: 1-10, 10-20, 20-29. Измерения проводят в прямом и обратном направлениях.

При помощи линейки и остро оточенного карандаша на рейке тонкими штрихами отмечают края шашечных делений, по которым предстоит делать отсчёты (1, 10, 20 и 29 дециметры чёрной стороны рейки). На рейку укладывается контрольная линейка. Исследуемая рейка кладётся горизонтально таким образом, чтобы она не провисала и «0» рейки и контрольной линейки находились слева. После отсчитывания температуры по термометру линейки с точностью до 0,1°C, определяются длины интервалов чёрных сторон реек между делениями 1-10, 10-20, 20-29 дм. При измерении каждого интервала сначала берётся отсчёт L по левому концу, а затем $П$ – по правому. Запись ведут в журнал определенного образца (табл.4). Каждый интервал измеряется дважды, сдвигая немного линейку перед вторым измерением. Расхождения $П-L$ между полученными дважды значениями длин измеряемых интервалов не должны различаться более чем на 0,1 мм. При получении больших расхождений, контрольная линейка сдвигается ещё раз и измерения повторяются. Грубые отсчёты вычёркиваются, а из оставшихся значений $П-L$ вычисляется среднее. После определения всех трех интервалов измерения прово-

дят в обратном направлении между делениями 29-20, 20-10, 10-1 дм. Предварительно проводят повторное определение температуры. Перед обратным ходом рейка поворачивается на 180°.

Таблица 4

Определение средней длины метрового интервала деревянной рейки

Рейка №1

Контрольная линейка №27

Уравнение контрольной линейки $L=1000,00+0,01+0,018 \cdot (t-16,8^{\circ}\text{C})$

Часть рейки	Отсчеты по линейке, мм			Среднее П-Л, мм	Поправка за темп-ру, мм	Длина части рейки, мм
	Л	П	П-Л			
Температура +8,6°С						
1-10	0,00	900,14	900,14	900,12	-0,12	900,00
	0,44	900,54	900,10			
10-20	0,10	1000,24	1000,14	1000,16	-0,14	1000,02
	0,36	1000,55	1000,19			
20-29	0,08	900,06	899,98	899,96	-0,12	899,84
	0,30	900,24	899,94			
Температура +8,6°С						
29-20	0,14	900,10	899,96	899,93	-0,12	899,81
	0,28	900,18	899,90			
20-10	0,00	1000,10	1000,10	1000,12	-0,14	999,98
	0,50	1000,64	1000,14			
10-1	0,12	900,22	900,10	900,11	-0,12	899,99
	1,36	901,48	900,12			
	Σ			5600,40	-0,76	5599,64

После подсчета среднего П-Л для каждого интервала необходимо рассчитать поправку за температуру согласно уравнению контрольной линейки. В примере поправка на 1 м равна $0,01+0,018 \cdot (8,6^{\circ}\text{C}-16,8^{\circ}\text{C}) = -0,14$ мм, на 0,9 м: $-0,14 \text{ мм} \cdot 0,9 = -0,12$ мм. С учетом поправки находят длину части рейки как сумму поправки и среднего П-Л.

Средняя длина метрового деления чёрной стороны рейки вычислялась путём деления суммы исправленных длин интервалов рейки в прямом и обратном ходах на число исследуемых метров рейки. В данном примере в прямом ходе исследовались 2 интервала по 0,9 метра и один метровый интервал. Сумма исследуемых интер-

валов составила 2,8 метра. Следовательно, в прямом и обратном ходах количество исследуемых интервалов будет 5,6 м. В результате средняя длина метрового деления чёрной стороны рейки вычислялась по формуле:

$$\frac{\Sigma L}{5,6} = \frac{5599,64}{5,6} = 999,94.$$

По полученной средней длине метрового интервала рейки судят об ошибке данного интервала. В нашем случае ошибка получилась равной -0,06 мм. Случайные ошибки метровых интервалов реек для нивелирования III класса не должны превышать 0,5 мм, а для нивелирования IV класса – 1,0 мм.

Определение средней длины метра пары реек требуется для введения соответствующей поправки в сумму превышений по секциям при окончательном вычислении результатов нивелирования. Поправочный коэффициент в этом случае равен -0,06 мм. Для введения в результаты нивелирования по секции поправки за среднюю длину метра комплекта реек используется формула:

$$\Delta h = (L_{cp} - 1000,00) \cdot h,$$

где L_{cp} – средняя длина метра комплекта реек в мм; h – превышение по секции в м.

Работа 5. ИЗМЕРЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ НА СТАНЦИИ НИВЕЛИРОВАНИЯ III КЛАССА

Состав работы:

1. Выбрать три точки в помещении лаборатории, расположенные на разной высоте.
2. Установить нивелир так, чтобы расстояния от нивелира до точек 1 и 2 были примерно одинаковыми.
3. Привести нивелир в рабочее положение.
4. Установить рейки на башмаки на первой и второй выбранных точках и измерить превышение между точками 1 и 2 по методике нивелирования III класса.

5. Установить рейки на башмаки на второй и третьей точках, перенести нивелир, установить его в рабочее положение и измерить превышение между точками 2 и 3.

6. Продолжить измерение превышений, чтобы получился замкнутый нивелирный ход.

7. Обработать заполненную страницу журнала.

Приборы и принадлежности: нивелир Н-3, комплект реек РН-3, нивелирные башмаки, страница журнала нивелирования III класса.

Порядок выполнения работы.

Точка установки нивелира, на которой выполняется полный цикл измерения превышения, называется станцией. На каждой станции применяется одна и та же последовательность операций по измерению превышения между точками хода, на которых установлены задняя и передняя рейки.

Перечислим эти операции (цифрами в скобках указана последовательность записи в журнал нивелирования, таблицы 5 и 6):

– установить нивелир примерно посередине между точками (с точностью до одного - двух метров);

– на одну точку поставить вертикально одну рейку комплекта (она будет называться задней рейкой); на вторую точку вертикально поставить другую рейку комплекта (она будет называться передней рейкой);

– навести трубу нивелира на заднюю рейку и взять три отсчёта по чёрной шкале рейки: отсчёт по средней нити (1) и два отсчёта по дальномерным нитям (2) и (3); все три отсчёта записать в журнал нивелирования (табл.5 и 6);

– навести трубу нивелира на переднюю рейку и взять три отсчёта по чёрной шкале рейки: отсчёт по средней нити (4) и два отсчёта по дальномерным нитям (5) и (6); все три отсчета записать в журнал нивелирования;

– повернуть переднюю рейку красной стороной к нивелиру и взять один отсчёт по средней нити по красной шкале рейки (7); отсчёт записать в журнал;

– навести трубу нивелира на заднюю рейку, повернуть заднюю рейку красной стороной к нивелиру и взять один отсчёт по средней нити по красной шкале рейки (8); отсчёт записать в журнал.

После взятия отсчетов вычисляют: дальномерные расстояния до задней и передней реек (9) и (10); контрольные превышения (11) и (12); разность расстояний и накопление разностей расстояний от начала хода до данной станции (13); чёрное и красное превышения (14) и (15); разности высот нулей рейки 1 и 2 как разности красного и чёрного отсчетов по каждой рейке (16) и (17), и разность нулей красных сторон (18) как (17)-(16) или (14)-(15); вычислить среднее превышение на станции (19) – это превышение вычисляется до десятых долей миллиметра по формуле

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_{\text{черн}} + (h_{\text{красн}} \pm 100\text{мм})}{2}.$$

Знак в скобках выбирается исходя из последовательности реек на станции. Так при порядке реек 1-2 с разностями высот нулей 4687 и 4787 соответственно выбирается знак «плюс», при последовательности 2-1 – знак «минус». Величина «100 мм» может быть другой в зависимости от разностей высот нулей комплекта реек.

Таблица 5

Форма журнала нивелирования III класса (левая сторона)

Номера штатива и реек	Зарисовка привязки	Отсчеты по дальномерным нитям		Контрольн. превышения
		Задняя	Передняя	
1	2	3	4	5
1		1572 (2)	1812 (5)	-240 (11)
1-2		1904 (3)	2130 (6)	-226 (12)
		332 (9)	318 (10)	+14/+14

Таблица 6

Форма журнала нивелирования III класса (правая сторона)

Наблюдения по средней нити			Среднее превышение
Задняя	Передняя	Превышения	
6	7	8	9
1739 (1)	1971 (4)	-232 (14)	-232,5 (19)
6428 (8)	6761 (7)	-333 (15)	
4689 (16)	4790 (17)	+99 (18)	

При вычислениях следует проверять соблюдение контролей и допусков на станции (см. работу 6). В случае невыполнения хотя бы одного контроля наблюдения выполняют заново. При выполнении всех контролей переходят на следующую станцию и измеряют превышения по методике, изложенной выше. При переходе на следующую станцию номера реек меняются.

После заполнения страницы журнала необходимо выполнить постраничные контрольные вычисления.

После окончания измерений нужно вычислить сумму превышений по всем станциям замкнутого нивелирного хода и убедиться, что она не превышает допустимого значения высотной невязки $f_{h \text{ доп}}$, вычисляемой по формуле

$$f_{h \text{ доп}} = 10 \text{ м.м} \sqrt{L, \text{ км}},$$

где L – длина хода в км. Ее получают как сумму расстояний до задних и передних реек.

Работа 6. ОБРАБОТКА ЖУРНАЛА НИВЕЛИРОВАНИЯ III КЛАССА

Состав работы: каждому студенту выдаётся индивидуальный вариант страницы журнала с записью средних превышений на четырёх – пяти станциях нивелирования III класса. Нужно восстановить записи во всех графах журнала с соблюдением всех допусков Инструкции по нивелированию [1].

Порядок выполнения работы.

Последовательность заполнения журнала нивелирования определяет сам студент, но нужно строго выдерживать следующие условия и допуски:

- рейка с номером один имеет разность высот нулей 4687 мм, рейка с номером два – 4787 мм;
- при переходе на следующую станцию номера реек меняются;
- расстояния до реек принять от 50 м до 75 м;
- разность расстояний до передней и задней реек могут различаться, но не более чем на 2 м;

- накопление разностей расстояний до реек не должно быть больше 5 м;
- высота визирного луча над препятствиями должна быть больше 30 см, то есть отсчёты по чёрным сторонам реек должны быть более 0300;
- среднее из двух дальномерных отсчётов по рейке может отличаться от отсчёта по средней нити не более чем на 3 мм;
- среднее из контрольных превышений может отличаться от «черного» превышения не более чем на 3 мм;
- вычисленная разность высот нулей каждой рейки может отличаться от номинального её значения не более чем на 3 мм;
- разность чёрного и красного превышений не должна быть больше 3 мм с учётом разности высот нулей комплекта реек.

После заполнения страницы журнала необходимо выполнить постраничные контрольные вычисления. Результаты вычислений записываются внизу страницы в графе «контрольные вычисления». Так, например, в столбцах 3 и 4 (табл.5 и 6) – складывают все дальномерные расстояния, в столбце 5 – контрольные превышения на всех станциях данной страницы журнала. Здесь же вычисляют полусумму контрольных превышений. В столбце 6 вычисляется сумма отсчётов, взятых по задней рейке, в столбце 7 – сумма отсчётов по передней рейке. В столбце 8 вычисляется сумма черных и красных превышений. Здесь же записывают их полусумму. Сумма отсчётов по средней нити взятых по задней рейке минус сумма отсчётов по средней нити взятых по передней рейке должна равняться сумме превышений. В заключении полусумму превышений в столбце 8, сравнивают с суммой средних превышений, вычисленную в столбце 9. Если на странице обрабатывается чётное число станций полусумма черных и красных превышений должна равняться сумме средних превышений, вычисленной в столбце 9. При нечётном числе станций полусумма черных и красных превышений должна отличаться от суммы средних превышений на половину разности высот нулей красных сторон реек, то есть 50 мм.

РАБОТА 7. УРАВНИВАНИЕ ОДИНОЧНОГО ХОДА НИВЕЛИРОВАНИЯ III КЛАССА

Состав работы: каждому студенту выдаётся вариант нивелирного хода, в котором даны значения измеренных превышений по секциям, длины секций и отметки исходных реперов. Необходимо выполнить обработку хода, вычислить отметки всех реперов хода, оценить точность измерений и уравненных отметок и сделать вывод о классе точности результатов.

Порядок выполнения работы.

Уравниванием геодезических сетей называют вычислительный процесс по распределению невязок с целью получения наилучших значений измеренных и искомых величин, а также оценки их точности.

Каждому студенту выдается схема одиночного нивелирного хода (рис.5) и ведомость уравнивания хода определенного образца.

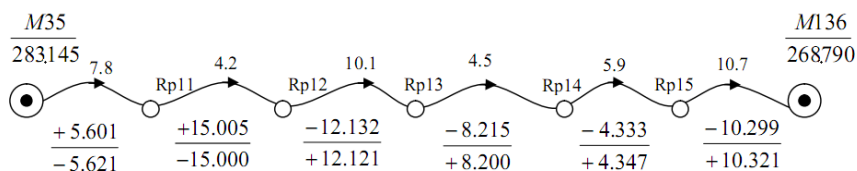


Рис. 5. Схема одиночного нивелирного хода

На схеме хода указаны:

- номера и отметки исходных марок $H_{нач}$ и $H_{кон}$ (отметки исходных марок даны под названиями марок). Начальной маркой является M35 а конечной – M136;
- номера промежуточных реперов, обозначенные как Rp11, Rp12, Rp13, Rp14 и Rp15;
- длины секций L_i в километрах (цифры над изогнутыми линиями);
- в числителе и знаменателе даны соответственно превышения по прямому и обратному ходам $h_{пр}$ и $h_{обр}$ по каждой секции.

Исходные данные переписываются в соответствующие графы ведомости.

Введем следующие обозначения элементов нивелирного хода:

n – количество секций в ходе,

l – длина i -той секции,

l_{iH} – расстояние от начального репера до репера с номером i ,

l_{iK} – расстояние от репера с номером i до конечного репера,

L – длина всего хода, $L = \sum_1^n l_i$,

$h_{i(np)}$ – измеренное превышение по i -той секции в прямом ходе,

$h_{i(обр)}$ – измеренное превышение по i -той секции в обратном хо-

де,

$h_{i(ср)}$ – измеренное среднее превышение по i -той секции,

d_i – разность измеренных превышений на i -той секции,

V_{h_i} – поправка в среднее превышение по i -той секции,

f_h – высотная невязка хода,

$m_{км}$ – средняя квадратическая ошибка измеренного превышения на 1 км хода,

H_i – отметка i -того репера,

P_{H_i} – вес отметки i -того репера,

M_{H_i} – средняя квадратическая ошибка отметки i -того репера,

Порядок вычислений:

1. Вычисляют средние превышения по секциям

$$h_{i(ср)} = \frac{1}{2} \cdot (h_{i(np)} - h_{i(обр)}).$$

2. Вычисляют суммы $\sum h_{i(np)}$, $\sum h_{i(обр)}$, $\sum h_{i(ср)}$. Контролируют

правильность вычислений средних превышений по формуле

$$\sum h_{i(ср)} = \frac{1}{2} \cdot (\sum h_{i(np)} - \sum h_{i(обр)}).$$

3. Вычисляют разности измеренных превышений $d_i = h_{i(нр)} + h_{i(обр)}$ (в мм), а также d_i^2 и $\frac{d_i^2}{l_i}$ и их суммы $\left[d_i^2 \right]$ и $\left[\frac{d_i^2}{l_i} \right]$. Разности превышений d_i сравнивают с предельной невязкой нивелирного хода III класса, вычисляемой по каждой секции по формуле $f_{h\text{ доп}} = 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{l_i, \text{ км}}$.

4. Выполняют оценку точности средних превышений. Для этого вычисляется средняя квадратическая ошибка превышения на 1 км хода по формулам:

$$m_{\text{км}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\left[d_i^2 \right]}{n}} \quad \text{и} \quad m_{\text{км}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\left[d_i^2 \right]}{L}},$$

а также ошибка самой ошибки $m_{m_{\text{км}}}$, характеризующая точность получения величины $m_{\text{км}}$ и вычисляемая по формуле:

$$m_{m_{\text{км}}} = \frac{m_{\text{км}}}{2n}.$$

Средняя квадратическая ошибка среднего превышения на 1 км хода по Инструкции [1] не должна превышать 5 мм. В противном случае превышения перемеряются в поле.

5. Вычисляют высотную невязку хода в мм

$$f_h = \sum h_{i(ср)} - (H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}})$$

и сравнивают ее с допустимым значением

$$f_{h(\text{доп})} = 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{L, \text{ км}}.$$

6. Вычисляют поправки в средние превышения (округляя до целых мм) и контролируют правильность их вычислений

$$V_{h_i} = -\frac{f_h}{L} \cdot l_i,$$

$$\sum V_{h_i} = -f_h.$$

7. Вычисляют исправленные значения средних превышений и контролируют правильность их вычислений

$$h_{i(испр)} = h_{i(ср)} + V_{h_i},$$
$$\sum h_{i(испр)} = H_{кон} - H_{нач}.$$

8. Вычисляют уравненные отметки определяемых реперов

$$H_i = H_{i-1} + h_{i(испр)},$$

начиная с начального исходного репера, у которого $i = 0$, и заканчивая на конечном исходном репере, вычисленная отметка которого должна быть в точности равна заданной отметке $H_{кон}$.

9. Вычисляют веса отметок определяемых реперов

$$P_{H_i} = \frac{L}{[l_{iH}] \cdot [l_{iK}]}.$$

10. Вычисляют среднюю квадратическую ошибку M_{H_i} уравненных отметок определяемых реперов и ошибки самих ошибок $m_{M_{H_i}}$

$$M_{H_i} = \frac{m_{км}}{\sqrt{P_{H_i}}},$$

$$m_{M_{H_i}} = \frac{m_{m_{км}}}{\sqrt{P_{H_i}}}.$$

11. Выполняют оценку точности уравненных отметок. По наименьшему весу уравненной отметки находят самое слабое место в ходе (середина хода, как правило), которому соответствует максимальное значение средней квадратической ошибки уравненных отметок M_{H_i} . Это значение необходимо сравнить с предельной ошибкой положения точки по высоте в середине хода после уравнивания. Предельная ошибка равна средней квадратической ошибке положения по высоте конечной точки хода до уравнивания

$$M = m_{км} \cdot \sqrt{L, км}.$$

Если $M_{H_i} \leq M$, то уравненные отметки соответствуют по точности III классу.

РАБОТА 8. УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ IV КЛАССА СПОСОБОМ ПОЛИГОНОВ

Состав работы:

1. Составить рабочую схему нивелирной сети.
2. Подсчитать количество независимых полигонов.
3. Вычислить фактические и допустимые невязки полигонов.
4. Выполнить уравнивание сети по способу полигонов; количество приближений не ограничено.
5. Вычислить поправки в превышения.
6. Вычислить окончательные отметки узловых пунктов нивелирной сети.
7. Выполнить оценку точности измерений в сети.
8. Выполнить оценку точности уравненных отметок.

Порядок выполнения работы.

В способе полигонов, называемом также способом «красных чисел», выполняется последовательное распределение невязок каждого полигона пропорционально весам нивелирных линий, входящих в полигон. Этот способ разработан профессором Поповым В.В. и соответствует решению нормальных уравнений коррелат в коррелатном способе уравнивания методом последовательных приближений.

Каждому студенту выдается схема нивелирной сети IV класса, в которой имеется ряд исходных и определяемых реперов, а также несколько нивелирных линий, для которых известно направление нивелирования, измеренное превышение и длина хода.

Уравнивание нивелирной сети выполняется в следующей последовательности.

1. На отдельном листе по выданному варианту составляется рабочая схема нивелирной сети (рис.6).

На рисунке 6 представлена нивелирная сеть IV класса с тремя исходными марками *M17*, *M19*, *M24*. Все исходные данные и измеренные величины, включающие превышения и длины ходов, а также их номера, выписывают на рабочей схеме, а именно:

– номера и отметки исходных марок (в числителе – номер исходной марки, а в знаменателе её отметка ($\frac{M19}{170.608}$));

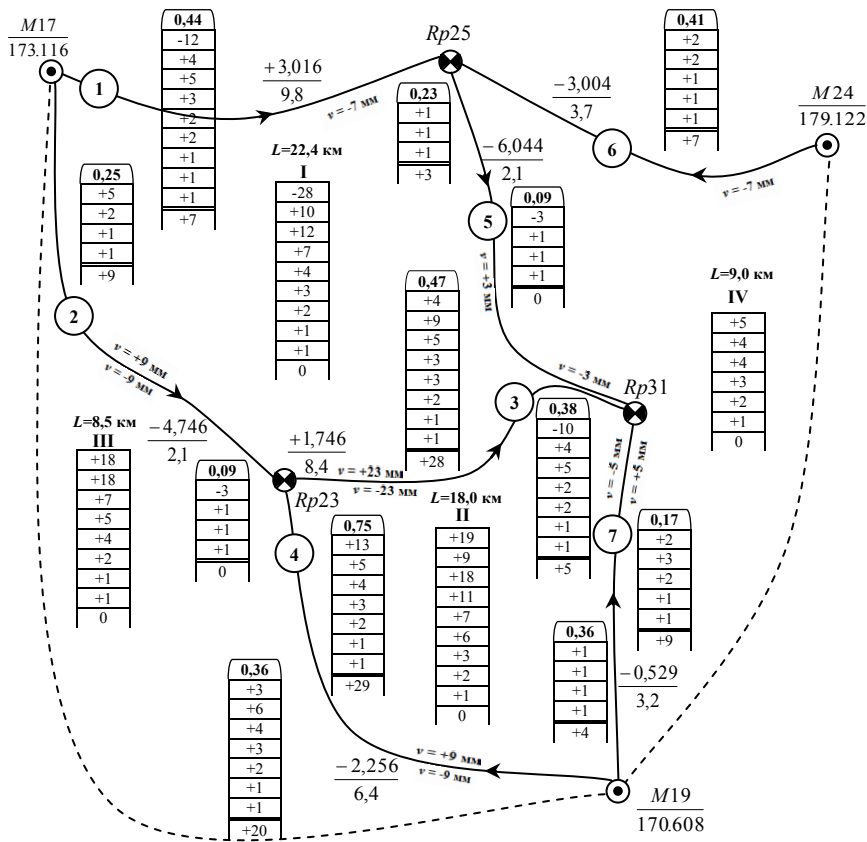


Рис.6. Уравнивание нивелирной сети по способу полигонов

– номера узловых реперов: $Rp23$, $Rp25$ и $Rp31$, отметки которых необходимо получить из уравнивания;
 – по каждой линии нивелирования в числителе записывают измеренные превышения h_i в направлении, указанном стрелкой, в зна-

менателе – длины l_i соответствующих ходов в километрах $(\frac{+3,016}{9,8})$.

Линии нивелирования пронумерованы цифрой в кружке.

2. Определяют число независимых полигонов в сети, количество которых должно быть равно количеству избыточных измерений r в сети; Его определяют по формуле

$$r = n - t,$$

где n – общее количество измерений в сети (равно числу нивелирных линий), t – количество необходимых измерений (количество определяемых реперов). В примере $n=7$, $t=3$, то есть число избыточных измерений (независимых полигонов) равно 4.

При необходимости в полигон включают ходы между исходными реперами (показаны пунктирной линией), превышение по которому считается истинным и не получает поправку при уравнивании. Находят превышение как разность высот конечного и начального реперов, на которые опирается ход.

3. Для каждого полигона вычисляют фактические высотные невязки $f_h = \sum h_i$, где h_i измеренные превышения по линиям полигона; знаки превышений должны соответствовать выбранному направлению обхода полигона, единому для всей нивелирной сети, например, по часовой стрелке. Если выбранное направление обхода совпадает с направлением нивелирования, знак превышения сохраняется, если направление не совпадает – знак превышения меняется на противоположный. Вычисленные высотные невязки являются первичными, их записывают в таблички невязок внутри полигонов. Над табличкой полигоны нумеруют римскими цифрами, начиная с полигона с наибольшей невязкой.

Фактические невязки сравнивают с допустимыми невязками для IV класса нивелирования, вычисляемыми по формуле

$$f_{h(\text{дон})} = 20 \text{ мм} \cdot \sqrt{L, \text{ км}},$$

где $L = [l_i]$ – периметр полигона в км. Вычисленные периметры полигонов записывают в рабочую схему. Если полученные невязки по абсолютной величине меньше предельных, то можно приступить к уравниванию сети.

4. Для всех линий полигона подсчитываются так называемые «красные числа» x_i по формуле

$$x_i = \frac{l_i}{[l_i]},$$

где l_i – длина хода, $[l_i]$ – периметр полигона.

«Красные числа» вычисляются с точностью до 0,01. Их записывают в шапке табличек поправок, построенных с внешней стороны полигона в каждом ходе (например, «красное число» для нивелирной линии 5 полигона I равно 0,09, а для полигона IV – 0,23). Для линий, показанных штрихами, «красные числа» не вычисляются. Сумма красных чисел в полигоне должна быть равна 1,00 (так, например, для полигона I , состоящего из нивелирных линий 1,2,3 и 5, «красные числа» равны соответственно 0,44, 0,09, 0,38 и 0,09, что в сумме равно 1,00).

5. После вычисления «красных чисел» начинают последовательное распределение невязок в полигонах методом приближений, начиная с полигона с наибольшей невязкой (это позволит уменьшить число приближений). Невязку в полигоне распределяют пропорционально длинам ходов, входящих в этот полигон, по формуле

$$v_i = f_h \frac{l_i}{[l_i]}.$$

Полученные значения поправок со знаком невязки записывают в таблички поправок под их весами («красными числами»). Сумма поправок по полигону должна равняться невязке. Например, в полигоне I получим следующие поправки:

$$\begin{aligned} -28 \text{ мм} \times 0,44 &= -12 \text{ мм}, \\ -28 \text{ мм} \times 0,09 &= -3 \text{ мм}, \\ -28 \text{ мм} \times 0,38 &= -10 \text{ мм}, \\ -28 \text{ мм} \times 0,09 &= -3 \text{ мм}. \end{aligned}$$

$$\text{Контроль } -12 \text{ мм} + (-3 \text{ мм}) + (-10 \text{ мм}) + (-3 \text{ мм}) = -28 \text{ мм}.$$

В полигоне II невязку +19 мм сложим с поправкой, полученной для хода 3 по полигону I , общему с полигоном II , то есть новая (приведенная) невязка будет равна +19 мм + (-10 мм) = +9 мм. Эта приведенная невязка сначала записывается в столбец, а затем рас-

пределяется по весам нивелирных линий 3,4 и 7 II полигона. Получаем поправки +4 мм, +3 мм и +2 мм.

Аналогично распределяют приведенные невязки по полигонам III и IV. На этом заканчивается первое приближение.

Выполнив первый обход, приступают ко второму приближению, опять начиная с полигона I. Приведенная невязка этого полигона будет равна сумме поправок, поступивших в полигон со смежных полигонов, то есть $-28 \text{ мм} + 5 \text{ мм} + 4 \text{ мм} + 1 \text{ мм} = +10 \text{ мм}$. Распределяют ее по аналогии с первым приближением. Как только приведенные невязки во всех полигонах станут равными нулю, процесс распределения невязок заканчивается.

Практические советы:

– после каждого учета невязки или поправки их следует подчеркнуть;

– если приведенная невязка равна одному миллиметру, то ее следует записать в табличку за пределами сети.

После распределения невязок по каждой табличке вычисляют алгебраическую сумму поправок, которую записывают под двойной чертой.

6. Вычисляют окончательные значения поправок в измеренные превышения по линиям следующим образом:

– для хода, входящего только в один полигон, поправка в измеренное превышение равна сумме поправок во внешней колонке данной линии с обратным знаком;

– для хода, принадлежащего двум смежным полигонам, поправка в измеренное превышение равна разности сумм поправок в двух колонках. Знак поправки зависит от направления линии и направления при вычислении невязок: при совпадении направлений знак поправки одинаков со знаком суммы, при противоположных направлениях знак поправки обратен знаку суммы.

Например, поправка в превышение по линии 3 в полигоне I будет равна $+28 \text{ мм} - 5 \text{ мм} = +23 \text{ мм}$, а в полигоне II равна $+5 \text{ мм} - (+28 \text{ мм}) = -23 \text{ мм}$; по линии 1 в полигоне I будет равна -7 мм .

Контролем вычисления поправок по каждому полигону является равенство суммы поправок значению невязки с обратным знаком.

7. После вычисления поправок в измеренные превышения за-
полняют таблицу вычисления отметок реперов и оценки точности
(таблица 7).

Таблица 7

Ведомость уравнивания нивелирной сети

Ход	Исходный пункт	Высота исходного пункта H , м	Измеренное пре- вышение $h_{изм}$ м	Поправка v_i , мм	Уравненное превышение $h_{ур}$ м	Уравненная высота $H_{ур}$ м	Длина хода l_i , км	Вес измеренного превышения p_i	$p_i v_i$	Вес отметки P_{Hi}	СКО отметки M_{Hi} , мм
Rp 25											
1	M17	173,116	+3,016	-7	+3,009	176,125	9,8	0,10	4,9	0,48	8,7
6	M24	179,122	-3,004	+7	-2,997	176,125	3,7	0,27	13,2		
						176,125					
Rp 28											
2	M17	173,116	-4,746	-9	-4,755	168,361	2,1	0,48	38,9	0,74	7,0
4	M19	170,608	-2,256	+9	-2,247	168,361	6,4	0,16	13,0		
						168,361					
Rp 31											
7	M19	170,608	-0,529	+5	+0,524	170,084	3,2	0,31	7,8	0,51	8,4
3	Rp 28	168,361	+1,746	-23	+1,723	170,084	8,4	0,12	63,5		
5	Rp 25	176,125	-6,044	+3	-6,041	170,084	2,1	0,48	4,3		
						170,084	$[pvv] = 145,6$				
$\mu = \sqrt{\frac{[pvv]}{r}} = \sqrt{\frac{145,6}{4}} \approx 6,0\text{мм}$											

Уравненные превышения $h_{ур}$ и отметки определяемых реперов $H_{ур}$ вычисляют по формулам

$$h_{ур_i} = h_{изм_i} + v_i,$$

$$H_{ур_i} = H_{исх_i} + h_{ур_i},$$

где $h_{изм_i}$ – измеренное превышение, v_i – поправка в измеренное пре-
вышение, $H_{исх_i}$ – отметка исходного репера.

8. Оценку точности измеренных превышений в нивелирной сети
выполняют с целью проверки соответствия нивелирования данному

классу. Для этого вначале вычисляют веса p_i всех нивелирных линий по формуле

$$p_i = \frac{1}{l_i},$$

где l_i – длина хода

Полученные веса вычисляют с точностью до 0,01, записывают в ведомость уравнивания и находят произведения pvv для каждой нивелирной линии.

По вычисленным произведениям находят величину μ – среднюю квадратическую ошибку единицы веса для хода длиной 1 км:

$$\mu = \sqrt{\frac{[pvv]}{r}}.$$

По величине μ делается вывод. Так как средняя квадратическая ошибка превышения, вес которого принят за единицу ($p = 1$) при оценке точности по поправкам равняется средней квадратической ошибке по ходу длиной 1 км ($l = 1$ км), то допуском согласно Инструкции [1] для III класса можно принять величину равную 5 мм на 1 км хода, а для IV класса – 10 мм на 1 км хода. В контрольном примере СКО единицы веса получилась равной 6,0 мм. Данная ошибка не превышает 10 мм, следовательно измеренные превышения в нивелирной сети соответствуют по точности IV классу нивелирования.

Следует отметить, что иногда при нахождении весов нивелирных линий вводят некоторое постоянное число C , которое выбирают с расчетом, чтобы значения весов выражались числами, близкими к единице. Например, $C = \frac{l_{\min} + l_{\max}}{2}$, а вес нивелирной линии будет

рассчитываться по формуле $p_i = \frac{C}{l_i}$. Величина μ в этом случае бу-

дет обозначать среднюю квадратическую ошибку единицы веса для хода длиной в C км. Тогда оценку точности измерений выполняют по величине $m_{\text{км}}$ – средней квадратической ошибке измеренного

превышения на 1 км хода по формуле $m_{\text{км}} = \frac{\mu}{\sqrt{C}}$.

9. Для оценки точности уравненных отметок вычисляют их среднюю квадратическую ошибку M_{H_i} по формуле

$$M_{H_i} = \frac{\mu}{\sqrt{P_{H_i}}},$$

где P_{H_i} – веса отметок реперов.

Веса отметок реперов можно вычислить по разным формулам; наиболее часто применяют формулы В.П.Козлова, в которых веса отметок реперов вычисляют за два приближения. В первом приближении вес отметки определяемого репера равен сумме весов нивелирных линий, сходящихся в этом репере, минус несколько поправочных членов. Количество поправочных членов равно количеству нивелирных линий, сходящихся в репере, а каждый член равен дроби, в числителе которой стоит квадрат веса нивелирной линии, а в знаменателе – сумма весов нивелирных линий, сходящихся в репере на другом конце данной линии; если на другом конце линии находится исходный репер, то данный член равен нулю. Так, для вычисления веса отметки репера $Rp25$ формула в первом приближении имеет вид

$$P_{H_{Rp25}}^I = p_1 + p_5 + p_6 - \frac{p_5^2}{p_3 + p_6 + p_7},$$

то есть

$$P_{H_{Rp25}}^I = 0,10 + 0,48 + 0,27 - \frac{0,48^2}{0,12 + 0,31 + 0,48} = 0,60.$$

Поправочный член для линий 1 и 6 равен нулю, потому что на других концах линий находятся исходные реперы $M17$ и $M24$. Аналогично рассчитаем вес отметки репера $Rp28$ $P_{H_{Rp28}}^I = 0,74$ и репера

$$Rp31 \quad P_{H_{Rp31}}^I = 0,62.$$

Во втором приближении в знаменателе каждого поправочного члена вместо суммы весов нивелирных линий нужно поставить вес отметки репера на другом конце линии, полученный из первого приближения

$$P_{H_{Rp25}}^{II} = p_1 + p_5 + p_6 - \frac{p_5^2}{P_{H_{Rp31}}^I},$$

то есть

$$P_{H_{Rp25}}^{II} = 0,10 + 0,48 + 0,27 - \frac{0,48^2}{0,62} = 0,48.$$

Аналогично вычисляют веса во втором приближении для всех узловых реперов в сети, записывают в ведомость и вычисляют среднюю квадратическую ошибку M_{H_i} уравненных отметок, по которой делают вывод о качестве уравненных отметок.

РАБОТА 8. УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ IV КЛАССА СПОСОБОМ УЗЛОВ

Состав работы: выполнить уравнивание нивелирной сети по способу узлов; схема нивелирной сети – та же, что и в предыдущем задании.

Порядок выполнения работы.

Уравнивание превышений нивелирной сети способом узлов (называемый также способом последовательных приближений) разработан профессором В.В. Поповым. В данном способе уравнивания поправки к непосредственно измеренным величинам находятся через поправки к приближенным значениям определяемых величин, то есть нормальные уравнения решаются в несколько приближений и соответствуют уравниванию параметрическим способом.

Уравнивание нивелирной сети способом узлов (приближений) производят в следующем порядке:

- составляют схему уравнивания;
- уравнивают высоты узловых точек;
- выполняют оценку точности по результатам уравнивания;
- уравнивают отдельные линии и вычисляют высоты промежуточных знаков в соответствии с указаниями.

Идея способа заключается в последовательном вычислении определяемых отметок по измеренным превышениям ходов, сходя-

щихся в этих реперах. В нивелирной сети, изображенной на рис. 6, формулы для вычисления отметок $Rp25$, $Rp28$ и $Rp31$ имеют вид

$$H_{Rp25} = \frac{(H_{M17} + h_1) \cdot p_1 + (H_{M24} + h_6) \cdot p_6 + (H_{Rp31} - h_5) \cdot p_5}{p_1 + p_6 + p_5},$$

$$H_{Rp28} = \frac{(H_{M17} + h_2) \cdot p_2 + (H_{M19} + h_4) \cdot p_4 + (H_{Rp31} - h_3) \cdot p_3}{p_2 + p_4 + p_3},$$

$$H_{Rp31} = \frac{(H_{M19} + h_7) \cdot p_7 + (H_{Rp25} + h_5) \cdot p_5 + (H_{Rp28} - h_3) \cdot p_3}{p_7 + p_5 + p_3}.$$

Вес каждого хода подсчитывается по формуле

$$p_i = \frac{1}{l_i},$$

где l_i – длина i -ой линии в километрах. Веса вычисляют с точностью до 0,01. При уравнивании сети по способу узлов удобнее пользоваться приведёнными весами

$$p'_i = \frac{p_i}{\sum p_i};$$

сумма приведённых весов на определяемом репере должна быть равна 1,00.

Поскольку отметка H_{Rp31} неизвестна, то в первом приближении отметки H_{Rp25} и H_{Rp28} вычисляются по неполной формуле – без третьего слагаемого в числителе и знаменателе; при вычислении отметки H_{Rp31} в первом приближении отметки H_{Rp25} и H_{Rp28} берутся из первого приближения. При дальнейших приближениях каждый раз берётся последнее вычисленное значение той и другой отметок.

Вычисления продолжают до тех пор, пока высоты одних и тех же узловых точек, вычисленные до 0,001 м, не будут одинаковыми в последнем и предпоследнем приближениях.

Значения высот, полученные в последнем приближении, считают окончательными (уравненными) высотами узловых точек.

По окончании уравнивания вычисляют поправки в превышения как разности абсолютных значений уравненных и измеренных пре-

вышений. Например, для нивелирной линии l на рис. 6 поправку в превышение вычисляют по формуле

$$v_1 = (H_{Rp25(yp)} - H_{M17}) - h_1.$$

Оценка точности по результатам уравнивания состоит в вычислении средней квадратической ошибки единицы веса и средних квадратических ошибок определения высот узловых точек. Среднюю квадратическую ошибку единицы веса μ вычисляют по формуле:

$$\mu = \sqrt{\frac{[pvv]}{n-t}},$$

где p – веса линий; v – поправки в превышения из уравнивания; n – число уравниваемых линий; k – число узловых точек.

Для оценки точности уравненных отметок вычисляют их среднюю квадратическую ошибку M_{H_i} по формуле

$$M_{H_i} = \frac{\mu}{\sqrt{P_{H_i}}},$$

где P_{H_i} – веса отметок реперов.

Веса отметок реперов вычисляют по формулам В.П.Козлова по аналогии с работой 7.

Рекомендательный библиографический список:

1. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: Недра, 2004.
2. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – М.: Недра, 1982.
3. *Михаленко Е.Б.* Инженерная геодезия. Геодезические сети и их развитие: учеб. пособие / Е.Б. Михаленко [и др.]; под науч. ред. Е.Б. Михаленко. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 79 с.
4. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. ГКИНТП (ГНТА) -01-006-03. – М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 2004.
5. *Поклад Г.Г.* Геодезия: учеб. пособие / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – М.: Академический проект, 2007. – 592 с.
6. *Селиханович В.Г.* Практикум по геодезии: учеб. пособие / Под ред. В.Г. Селиханович. 2-е изд., стереотипное. – М.: Альянс, 2006. – 382 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Проверки точных нивелиров с цилиндрическим уровнем при трубе	4
2. Определение увеличения зрительной трубы и цены деления уровня при трубе.....	6
3. Исследование нивелира с компенсатором	9
4. Определение средней длины метра комплекта реек	12
5. Измерение превышений на станции нивелирования III класса	15
6. Обработка журнала нивелирования III класса.....	18
7. Уравнивание одиночного хода нивелирования III класса	20
8. Уравнивание нивелирной сети IV класса способом полигонов	24
9. Уравнивание нивелирной сети IV класса способом узлов	32
Рекомендательный библиографический список.....	35

ГЕОДЕЗИЯ. Плановые сети сгущения: Методические указания к лабораторным работам. Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *А.А. Кузин*. СПб., 2018 г. 24 с.

Методические указания к лабораторным работам составлены в соответствии с утверждённой программой учебной дисциплины «Геодезия». В нем приведены технические и методические указания по выполнению работ по сгущению плановой геодезической сети. Рассмотрены поверки и исследования точных теодолитов, методика измерения углов и расстояний в полигонометрии IV класса, 1 и 2 разрядов. Описана методика редуцирования расстояний на плоскость проекции Гаусса. Каждая работа сопровождается пояснениями с рассмотрением теоретических вопросов.

Следует учесть, что в данные методические указания не вошли предусмотренные программой дисциплины работы по линейно-угловым измерениям электронным тахеометром по трехштанговой системе.

Методические указания предназначены для студентов второго года обучения специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия», специализации «Инженерная геодезия» и могут быть использованы в учебном процессе студентами других специальностей, изучающих курс «Геодезия».

Табл.4, Ил.5. Библиогр.: 5 назв.

Научный редактор *доц. Корнилов Ю.Н.*

Рецензент: *к.т.н., доц. Богомолова Н.Н., кафедра «Инженерная геодезия», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Николая I*

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Геодезия» является частью основной образовательной программы подготовки специалистов по специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия», специализации «Инженерная геодезия» и изучается студентами Горного университета на 2 курсе. В задачу курса входит изучение методов сгущения плановых и высотных геодезических сетей для обоснования топографических съемок в масштабе 1:5000 – 1:500 и других инженерно-геодезических работ.

Плановую сеть сгущения создают различными методами: триангуляцией, трилатерацией, полигонометрией, методами спутниковых определений. Спутниковые методы являются в настоящее время основными при сгущении плановых сетей. В данном издании приведены методические указания к лабораторным работам по выполнению линейно-угловых измерений в сетях полигонометрии IV класса, 1 и 2 разрядов. Спутниковые методы изучаются студентами специальности «Прикладная геодезия» на старших курсах.

Лабораторные работы выполняются как в бригадах, так и индивидуально. Отчет по лабораторным работам оформляется на листе формата А4 или на бланке, выдаваемом преподавателем. Форма контроля освоения лабораторных работ – индивидуальный зачет в форме беседы и ответов на контрольные вопросы.

Для успешного освоения данного курса студент должен обладать знаниями и умениями, приобретенными на дисциплине «Геодезия» на 1 курсе и на учебной полевой практике.

Работа 1. УСТРОЙСТВО И ПРОВЕРКИ ТЕОДОЛИТА 2Т2.

Состав работы: изучить устройство точного теодолита 2Т2, схему геометрических осей. Выполнить проверку цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга, проверку сетки нитей, определить коллимационную ошибку и место зенита.

Приборы и принадлежности: теодолит 2Т2, шпилька, отвертка.

Порядок выполнения работы.

К точным относятся теодолиты, обеспечивающие точность измерения углов со средней квадратической ошибкой измерения угла 2-5". Это теодолиты 2Т2, 2Т5 и им подобные.

Основными геометрическими элементами теодолита являются (рис. 1):

- вертикальная ось вращения теодолита ZZ_1
- горизонтальная ось вращения зрительной трубы HH_1
- визирная ось зрительной трубы VV_1
- ось цилиндрического уровня UU_1 при алидаде горизонтального круга;
- сетка нитей зрительной трубы;
- ось оптического центра $ЦЦ_1$.

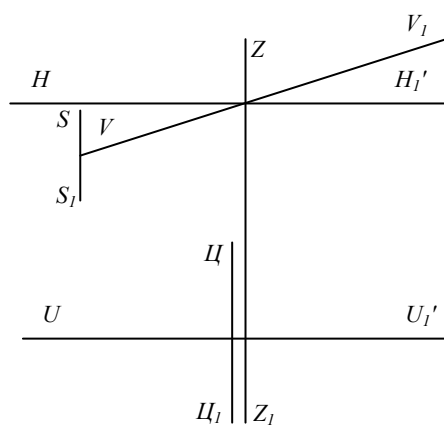


Рис.1. Схема геометрических осей теодолита 2Т2

Неправильное расположение перечисленных геометрических элементов прибора – одна из основных причин появления дополнительных инструментальных погрешностей, которые исключить из результатов измерений весьма трудно, а зачастую и невозможно.

1-я проверка (Проверка уровня при алидаде горизонтального круга). Ось цилиндрического уровня UU_1 при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения теодолита ZZ_1

Для проверки поворотом алидады горизонтального круга устанавливают ось уровня по направлению двух подъемных винтов подставки приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Затем поворачивают алидаду на 180° и оценивают смещение пузырька от нуль-пункта. Если пузырек уровня сместился с нуль-пункта не более чем на одно деление, условие перпендикулярности осей UU_1 и ZZ_1 выполнено. При смещении пузырька более чем на одно деление шкалы необходимо выполнить юстировку уровня. Для этого пузырек возвращают в нуль-пункт, половину отклонения устраняя подъёмными винтами, а другую половину – исправительными винтами уровня при помощи отвертки.

2-я проверка (Проверка установки сетки нитей). Вертикальная нить SS_1 сетки нитей должна находиться в коллимационной плоскости.

Проверить условие можно наводя вертикальную нить сетки на шнур предварительно подвешенного отвеса. Если они совпадают или отклонение не более чем на три толщины штриха сетки нитей, то условие выполнено. В противном случае сетку разворачивают.

3-я проверка (Определение коллимационной погрешности). Визирная ось зрительной трубы VV_1 должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси её вращения HH_1 . Невыполнение этого условия вызывает коллимационную погрешность.

Для выполнения этой проверки теодолит приводят в рабочее положение и визируют на хорошо видимую удаленную точку, расположенную примерно на одной высоте с прибором и получают отсчеты по горизонтальному кругу при KL и $KП$.

$$2C=(KL-KП\pm 180^\circ).$$

Для контроля определение $2C$ повторяют, визируя теодолит на другую точку.

Коллимационная ошибка относится к симметричным ошибкам; она искажает отсчеты по лимбу при KL и $KП$ на одну и ту же величину, но с противоположными знаками. Однако более тщательные исследования показывают, что коллимационная ошибка не остается постоянной во времени. Этот факт в методике точных измерений учитывается следующим образом: в приеме для каждого направления вычисляется значение коллимационной ошибки и проверяется, чтобы их расхождение не превышало некоторого значения.

Величина коллимационной ошибки не должна быть больше $10''$, а колебание коллимационной ошибки в направлениях – не больше $12''$ [5].

Пример определения коллимационной погрешности приведён в таблице 1. Запись ведут журнале установленного образца.

Таблица 1

Определение коллимационной погрешности (теодолит 2Т2)

№ п/п	Отсчёт по горизонтальному кругу ° ' "		2C, "	Примечание
	<i>KL</i>	<i>KП</i>		
1	23 45 30,8	203 45 25,6	+5,2	в юстировке нет необходимости
2	15 23 25,6	195 23 16,1	+9,5	

4-я проверка (Проверка горизонтальной оси вращения зрительной трубы – неравенства колонок). Горизонтальная ось HH_1 вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси ZZ_1 вращения теодолита.

Для проверки этого условия устанавливают теодолит на некотором расстоянии от стены, выбирают на ней хорошо видимую и высоко расположенную визирную цель (угол наклона должен быть $25^\circ - 35^\circ$), визируют на неё при двух положениях круга, берут отсчеты по вертикальному кругу и каждый раз проецируют цель вниз примерно на высоту теодолита. Проецирование осуществляют на линейку с миллиметровыми делениями или на лист бумаги. При неравенстве колонок между спроецированными точками возникает линейная ошибка b вследствие наклона оси вращения зрительной трубы. Величину угла i отклонения оси вращения трубы от положе-

ния, перпендикулярного к оси вращения прибора, определяют по формуле

$$i = \frac{b \operatorname{prctg} v}{2S},$$

где $v = KЛ - КП \pm 180^\circ$ – угол наклона визирной цели, b – разность отсчетов по линейке, S – расстояние от теодолита до горизонтальной проекции визирной цели. Значение угла i не должно превышать $10''$.
Исправление неравенства колонок осуществляется в мастерской.

5-я проверка (Определение места зенита вертикального круга)

В точном теодолите 2Т2, в отличие от теодолитов технической точности, лимб вертикального круга оцифрован от 0° до 360° . что позволяет определять зенитные расстояния Z – угол в вертикальной плоскости между отвесной линией и визирным лучом, направленным на наблюдаемую точку. Зенитное расстояние дополняет угол наклона до 90° .

Место зенита (MZ) – это отсчет по вертикальному кругу при положении визирной оси трубы, направленной в зенит, и исходном положении отсчетного устройства.

Для его определения следует навести горизонтальную нить сетки нитей на удаленную цель при $KЛ$, затем при $KП$ и взять отсчёты по вертикальному кругу. Перед отсчитыванием по вертикальному кругу установочным винтом необходимо совместить концы пузырька уровня при вертикальном круге. Отсчеты записывают в журнал (табл.2). Место нуля вычисляется по формулам:

$$MZ = (KЛ + КП - 360^\circ) / 2$$

Для контроля измерения выполняют дважды. Полученные результаты не должны быть более $10''$.

Таблица 2

Определение места зенита вертикального круга (теодолит 2Т2)

Номер точки визирования	Отсчёты по вертикальному кругу ° ' "		Значение MZ, "
	КЛ	КП	
1	64 25 36,8	295 34 30,4	+3,6
2	86 15 06,3	273 45 02,4	+4,4

Работа 2 ИЗМЕРЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ СПОСОБОМ КРУГОВЫХ ПРИЕМОМ И РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ УГЛОВОЙ ЗАСЕЧКИ

Состав работы: выполнить измерение направлений двумя приемами точным теодолитом на пункте с неизвестными координатами и определить его плановые координаты, решив обратную угловую засечку.

Приборы и принадлежности: теодолит 2Т2, журнал измерения направлений способом круговых приемов, каталог координат исходных пунктов.

Порядок выполнения работы.

Обратной угловой засечкой (задачей Потенота) называется определение положения пункта путем измерения углов или направлений на определяемом пункте не менее чем на три пункта, координаты которых известны. В том случае, когда исходных пунктов всего лишь три, обратная угловая засечка называется *однократной* (нет избыточных измерений). В том случае, когда исходных пунктов более трех – обратная угловая засечка называется *многократной* (рис.2). На практике для получения надежного контроля и повышения точности определения координат искомой точки используют многократную обратную засечку не менее чем по четырем исходным пунктам. Примером применения обратной угловой засечки при создании плановых сетей сгущения может служить косвенная привязка ходов полигонометрии к пунктам государственных геодезических сетей (если пункты, например, стенные).

Погрешность определения положения искомой точки обратной угловой засечкой в значительной степени зависит от её расположения относительно исходных пунктов. Наилучшие результаты получают в случаях нахождения определяемой точки внутри треугольника, образованного исходными пунктами либо вне треугольника напротив одной из её вершин. Если искомая точка находится на окружности, проходящей через исходные точки («опасный круг»), то задача становится неопределённой (не имеет решения).

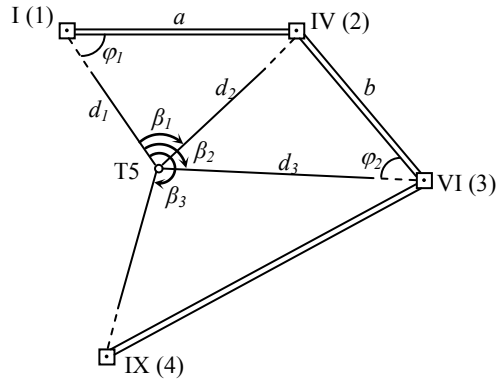


Рис.2. Многократная обратная угловая засечка

Порядок угловых измерений следующий:

1. Установить теодолит 2Т2 на любую консоль в лаборатории и привести его в рабочее положение.

2. Выбрать три (четыре) визирные марки на стенах лаборатории и дать им условные номера 1, 2, 3, (4).

3. Измерить направления способом круговых приемов. Каждый студент выполняет один прием. Записи отсчетов занести в журнал (табл.3).

В первом приёме теодолит 2Т2 визируют на начальное направление при *КЛ* и на лимбе устанавливают отсчёт близкий к 0° . Берут начальный отсчёт при двух совмещениях штрихов. При первом совмещении берут полный отсчет – в градусах, минутах и секундах, а при втором совмещении – только в секундах; расхождение отсчетов не должно превышать $2,0''$.

Затем вращением алидады по ходу часовой стрелки, последовательно визируют и берут отсчёты по горизонтальному кругу при двух совмещениях штрихов на все остальные направления. Повторно визируют и на начальное направление. Это делают для того, чтобы убедиться в неподвижности лимба в процессе измерений. Условие считается выполненным, если незамыкание горизонта не превышает $8''$. В противном случае полуприём считается некачественным и повторяется заново. Аналогично действуют и при втором полуприёме, но при *КП*. Измерения выполняют, вращая алидаду про-

тив хода часовой стрелки. Соответственно и запись в журнале ведут снизу вверх.

Во втором приеме последовательность действий та же, но на начальное направление на лимбе устанавливают отсчёт близкий к $90^{\circ} 05'$.

4. Обработать журнал измерений и получить список направлений на пункте. При обработке рассчитать значение двойной коллимационной ошибки $2C$. Ее колебание на направления не должно превышать $12''$. Колебания направлений, полученных в двух приемах, не должны быть больше $8''$. При величине незамыкания горизонта менее $8''$ в направления вносятся поправки, рассчитываемые по формуле

$$\delta_i = \left(-\frac{\Delta_{cp}}{n} \right) (i - 1),$$

где Δ_{cp} – среднее из незамыканий горизонта при $KЛ$ и $KП$, i – порядковый номер направления; n – число направлений.

Таблица 3

Образец журнала измерения углов способом круговых приемов

№ напр.	Круг	Отсчёты по штрихам лимба ° ' "	Отсчёты по микрометру, "		$\frac{a_1 + a_2}{2}$ "	$2C$ "	$KЛ + KП$ "	Значения направлений
			a_1	a_2				
I	<i>KЛ</i>	0 01	08,3	09,2	08,8	-18,6	-0,0	0°00'00,0"
	<i>KП</i>	180 01	26,4	28,3	27,4		18,1	
IV	<i>KЛ</i>	76 09	29,8	31,0	30,4	-18,2	-0,3	76°08'21,1"
	<i>KП</i>	256 09	48,1	49,0	48,6		39,5	
VI	<i>KЛ</i>	270 08	39,6	40,9	40,2	-14,3	-0,6	270°07'28,7"
	<i>KП</i>	90 08	54,0	55,0	54,5		47,4	
IX	<i>KЛ</i>	315 25	14,3	15,0	14,6	-16,4	-0,8	315°25'03,9"
	<i>KП</i>	135 25	29,8	31,2	31,0		22,8	
I	<i>KЛ</i>	0 01	10,5	10,0	10,2	-18,0	-1,1	-
	<i>KП</i>	180 01	27,2	29,2	28,2		19,2	

Незамыкание: $\Delta_{KЛ} = +1,4''$, $\Delta_{KП} = +0,8''$, $\Delta_{cp} = +1,1''$.

После вычисления направлений из двух приемов, их подписывают на схеме засечки и используют для дальнейших вычислений.

Из многочисленных способов и приемов решения обратной угловой засечки (задачи Потенота) заданием предусмотрено решение обратной геодезической засечки по четырем исходным пунктам (рис.2) способом Деламбра. Идея этого способа состоит в приведении решения обратной засечки к решению прямых засечек по формулам Гаусса. Для этого необходимо по выписанным из каталога координатам известных пунктов найти дирекционные углы направлений с исходных пунктов на определяемый.

Румб r_{1-T5} направления с исходного пункта I (1) на определяемый пункт T5 вычисляют по формуле:

$$tgr_{1-T5} = \frac{(Y_2 - Y_1)ctg\beta_1 + (Y_1 - Y_3)ctg\beta_2 - X_2 + X_3}{(X_2 - X_1)ctg\beta_1 + (X_1 - X_3)ctg\beta_2 + Y_2 - Y_3} = \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right|,$$

$$r_{1-T5} = arctg \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right|$$

Номер четверти и формула для вычисления дирекционного угла определяются по знакам приращений ΔY и ΔX :

- 1-я четверть: $\Delta X > 0$ и $\Delta Y > 0$, $\alpha = r$;
- 2-я четверть: $\Delta X < 0$ и $\Delta Y > 0$, $\alpha = 180^\circ - r$;
- 3-я четверть: $\Delta X < 0$ и $\Delta Y < 0$, $\alpha = 180^\circ + r$;
- 4-я четверть: $\Delta X > 0$ и $\Delta Y < 0$, $\alpha = 360^\circ - r$.

После нахождения дирекционного угла α_{1-T8} , вычисляют дирекционные углы с исходных пунктов IV (2), VI (3) и XI (4) на определяемый пункт T5 по формулам:

$$\alpha_{2-T5} = \alpha_{1-T5} + \beta_1, \alpha_{3-T5} = \alpha_{1-T5} + \beta_2, \alpha_{4-T5} = \alpha_{1-T5} + \beta_3.$$

Затем, используя формулы тангенсов дирекционных углов направлений с исходных пунктов на определяемый (формулы Гаусса), вычисляют координаты пункта T5 в двух комбинациях. Первое решение получают при использовании дирекционных углов α_{1-T8} и α_{2-T8} ; для второго решения используют дирекционные углы α_{3-T8} и

α_{4-T8} . Второе решение является контрольным и независимым от первого.

I комбинация

$$X_{T5} = \frac{X_1 \operatorname{tg} \alpha_{1-T5} - X_2 \operatorname{tg} \alpha_{2-T5} + Y_2 - Y_1}{\operatorname{tg} \alpha_{1-T5} - \operatorname{tg} \alpha_{2-T5}},$$

$$Y_{T5} = Y_1 + (X_{T5} - X_1) \operatorname{tg} \alpha_{1-T5} = Y_2 + (X_{T5} - X_2) \operatorname{tg} \alpha_{2-T5}.$$

II комбинация

$$X_{T5} = \frac{X_3 \operatorname{tg} \alpha_{3-T5} - X_4 \operatorname{tg} \alpha_{4-T5} + Y_4 - Y_3}{\operatorname{tg} \alpha_{3-T5} - \operatorname{tg} \alpha_{4-T5}},$$

$$Y_{T5} = Y_3 + (X_{T5} - X_3) \operatorname{tg} \alpha_{3-T5} = Y_4 + (X_{T5} - X_4) \operatorname{tg} \alpha_{4-T5}.$$

После определения координат искомого пункта, выполняют *оценку точности* обратной угловой засечки. Поскольку задача решается дважды при различном сочетании исходных пунктов, для каждого варианта решения определяется средняя квадратическая ошибка (СКО) M_1 и M_2 положения пункта по формуле

$$M_1 = \frac{d_2 m_{\beta}''}{\rho'' \sin(\varphi_1 + \varphi_2)} \sqrt{\frac{d_1^2}{a^2} + \frac{d_3^2}{b^2}},$$

где m_{β}'' – СКО измерения горизонтального угла, $\rho'' = 206265''$, d_1 , d_2 , d_3 , a , b , φ_1 и φ_2 – расчетные величины (см. рис.2). Величина M_2 рассчитывается аналогично по данным второй пары треугольников.

Погрешность определения положения пункта из двух решений составит

$$M = \sqrt{M_1 + M_2}.$$

Допустимость расхождений в значениях из двух решений устанавливают согласно условию

$$\sqrt{(X^I - X^{II})^2 + (Y^I - Y^{II})^2} \leq 3M,$$

где X^I , Y^I и X^{II} , Y^{II} – решение из первой и второй комбинации соответственно.

При соблюдении этого условия за окончательные значения координат принимают средние арифметические значения из двух решений, ошибка которого будет составлять $\frac{M}{2}$.

Следует отметить, что ввиду наличия избыточных измерений в многократных засечках возникает задача уравнивания угловых измерений, которую решают по методу наименьших квадратов на компьютере.

Работа 3 ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ СПОСОБОМ ПРИЕМОМОВ И РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ УГЛОВОЙ ЗАСЕЧКИ

Состав работы: выполнить измерение горизонтальных углов от двух пунктов с известными координатами на цель двумя полными приемами точным теодолитом и определить плановые координаты цели, решив прямую угловую засечку.

Приборы и принадлежности: теодолит 2Т2, подставка, оптический центрир, визирная марка, журнал измерения горизонтальных способом приемов, каталог координат исходных пунктов.

Порядок выполнения работы.

Прямая угловая засечка применяется для определения координат дополнительной точки на основании двух исходных пунктов с известными координатами. В этом случае засечка является однократной. Так же, как и в случае с обратной засечкой, для обеспечения контроля измерений и повышения точности определения положения искомого пункта, применяют многократные прямые засечки не менее чем с трех исходных пунктов (рис.3). Прямая угловая засечка может применяться при сгущении геодезических сетей для передачи плановых координат с центров стороны полигонометрического хода на стенные знаки.

Угол засечки (угол при определяемом пункте), по возможности, должен находиться в диапазоне от 30° до 150°. Оптимальное значение угла засечки, при котором будет отмечаться максимальная точность разбивки – 90°.

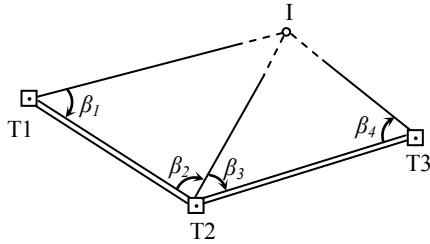


Рис.3. Многократная прямая угловая засечка

Порядок угловых измерений следующий (см. рис.3):

1. Выбрать одну из визирных марок на стенах лаборатории. Ее координаты необходимо будет определить.

2. Выбрать две (три) консоли в лаборатории, которые будут исходными. Все пункты необходимо выбрать с учетом оптимальной геометрии прямой угловой засечки. На консоли установить подставку, привести ее в рабочее положение с помощью оптического центра и установить в нее визирную марку. Теодолит 2Т2 также установить на одной из консолей и привести в рабочее положение.

3. Если теодолит установлен на исходном пункте, являющимся общей вершиной двух смежных треугольников (пункт Т2 на рис.3), то измерение направлений на нем выполняют способом круговых приемов двумя приемами. Направления на два других исходных пункта фиксируются визирными марками. Методика работы описана в работе 2. Горизонтальные углы получают как разность соответствующих направлений.

4. На исходных пунктах Т1 и Т3 измерение углов выполняют двумя полными приемами. Теодолит и визирная марка при переходе от пункта Т2 к пункту Т1 (Т3) переставляются местами без повторного центрирования и горизонтирования. В первом приеме теодолит 2Т2 визируют на первую цель при *КЛ* и на лимбе устанавливают отсчет близкий к 0° , записывая его в журнал (табл.4). Затем вращением алидады визируют и берут отсчет на вторую цель и записывают его в журнал. Данные измерения составляют первый полуприем. Второй полуприем выполняют при *КП*, Наводясь на цели и беря отсчеты в той же последовательности, что и при *КЛ*. Эти действия составляют один полный прием.

Во втором приеме последовательность действий та же, но на первую цель на лимбе при *КЛ* устанавливают отсчёт близкий к $90^{\circ} 05'$.

Таблица 4

Образец журнала измерения углов способом полных приемов

Теодолит 2Т2 №13847 Наблюдал Иванов И.

№ ст.	Круг	№ напр.	Отсчеты, ° ' "	2С, "	Значение угла, ° ' "	Среднее значение угла, ° ' "	Примечание
Т1	КЛ	I	0 01 04,8		46 22 31,7	46 22 31,6	
	КЛ	T2	46 23 36,5	-14,6			
	КП	I	180 01 19,4	-14,4	46 22 31,5		
	КП	T2	226 23 50,9				
Т1	КЛ	I	90 05 15,3		46 22 33,0	46 22 31,9	
	КЛ	T2	136 27 48,3	-13,7			
	КП	I	270 05 29,0	-11,5	46 22 30,8		
	КП	T2	316 27 59,8				

5. При обработке наблюдений вычисляют величину двойной коллимационной ошибки $2C$ и угол, измеренный в каждом полу-приеме. При этом колебание $2C$ не должно превышать $12''$, расхождение значений углов в приемах допускается не более $8''$ для теодолитов типа 2Т2. Если значения угла отличаются на большую величину, то наблюдения повторяют в тех приемах, где имеется большее расхождение.

6. По окончании наблюдений на станции и обработки журнала следует привести сводку результатов измерений, где находят среднее (окончательное) значение угла.

Вычисление координат искомой точки может быть выполнено по формулам Юнга (формулы котангенсов измеренных углов):

$$X_I = \frac{X_{T1} \operatorname{ctg}\beta_2 + X_{T2} \operatorname{ctg}\beta_1 - Y_{T1} + Y_{T2}}{\operatorname{ctg}\beta_1 + \operatorname{ctg}\beta_2},$$

$$Y_I = \frac{Y_{T1} \operatorname{ctg}\beta_2 + Y_{T2} \operatorname{ctg}\beta_1 + X_{T1} - X_{T2}}{\operatorname{ctg}\beta_1 + \operatorname{ctg}\beta_2}.$$

Применяют и формулы Гаусса (формулы тангенсов дирекционных углов). Их применяют при отсутствии взаимной видимости между исходными пунктами.

$$X_I = \frac{X_{T1} \operatorname{tg} \alpha_{T1-I} - X_{T2} \operatorname{tg} \alpha_{T2-I} - Y_{T1} + Y_{T2}}{\operatorname{tg} \alpha_{T1-I} - \operatorname{tg} \alpha_{T2-I}},$$

$$Y_I = Y_{T1} + (X_I - X_{T1}) \operatorname{tg} \alpha_{T1-I} = Y_{T2} + (X_I - X_{T2}) \operatorname{tg} \alpha_{T2-I}$$

Для второго решения многократной прямой угловой засечки используют либо измеренные углы β_3, β_4 , либо дирекционные углы $\alpha_{T3-I}, \alpha_{T4-I}$ и соответствующие им координаты пунктов. Второе решение является контрольным и независимым от первого.

После определения координат искомого пункта, выполняют оценку точности прямой угловой засечки, вычисляя СКО M по формуле

$$M = \frac{b m_{\beta}''}{\rho'' \sin \gamma} \cdot \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2},$$

где $b = S_{T1-T2}$ (из решения ОГЗ), m_{β}'' – СКО измерения горизонтального угла, $\gamma = 180^\circ - \beta_1 - \beta_2$, $\rho'' = 206265''$.

При наличии трех исходных пунктов подсчитывают СКО M_I и M_2 из независимых решений треугольников. Расхождение между координатами искомого пункта, полученного из двух решений, должно удовлетворять условию

$$\sqrt{(X^I - X^{II})^2 + (Y^I - Y^{II})^2} \leq 3M,$$

где X^I, Y^I и X^{II}, Y^{II} – решение из первой и второй комбинации соответственно, $M = \sqrt{M_1 + M_2}$.

При соблюдении этого условия за окончательные значения координат принимают средние арифметические значения из двух решений, ошибка которого будет составлять $\frac{M}{2}$.

Работа 4 ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ СВЕТОДАЛЬНО-МЕРОМ СТ5 «БЛЕСК»

Состав работы: изучить устройство светодальномера СТ5 и порядок операций при измерении расстояний, выполнить измерение двух расстояний с общей вершиной в прямом и обратном направлении.

Приборы и принадлежности: светодальномер СТ5, подставка, оптический центрир, отражатель.

Порядок выполнения работы.

Светодальномер СТ5 предназначен для измерения расстояний при сгущении геодезических сетей по трехштативной системе и топографических съемках. Он позволяет измерять расстояния до 5 км со средней квадратической погрешностью $m_s = 10 \text{ мм} + 5 \text{ мм } S 10^{-6}$. При применении специальной методики линии длиной до 300 м можно измерять со средней квадратической погрешностью порядка 3 мм. Точность измерений в режиме «ГРУБО» составляет 10 см. Светодальномер СТ-5 может устанавливаться на колонки теодолитов серии 2Т (2Т2, 2Т5, и др.). Диапазон углов наклона измеряемой линии $\pm 22^\circ$.

На рабочей панели светодальномера расположены (рис.4):

- стрелочный индикатор (1);
- цифровое табло для высвечивания расстояния (2);
- ручка изменения мощности сигнала (3);
- переключатель режима работы (4);
- переключатель включения-выключения (5).

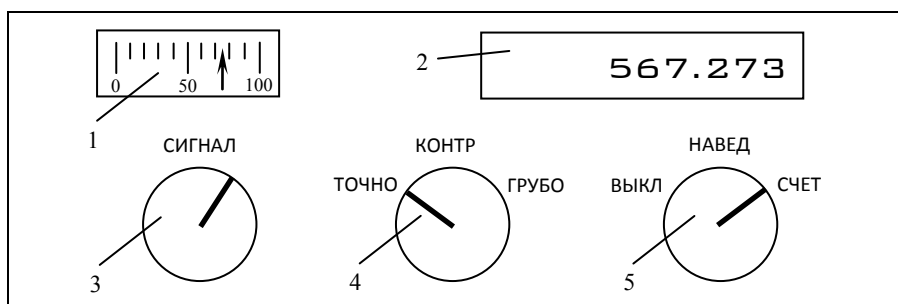


Рис.4. Рабочая панель светодальномера

Процесс измерения расстояний светодальномером включает несколько этапов:

- установку светодальномера над центром пункта (начальной точкой измеряемой линии);
- установку отражателя над центром второго пункта (конечной точкой измеряемой линии);
- проверку источника питания;
- наведение на отражатель;
- взятие отсчетов по цифровому табло;
- вычислительные операции.

После приведения в рабочее положение светодальномера и отражателя на пунктах, светодальномер должен быть подключен к аккумуляторной батарее. Подключение осуществляют посредством кабеля. После подключения электропитания осуществляют контроль уровня заряда аккумуляторной батареи. Для этого переключатель 4 (рис.4) устанавливают в положение «КОНТР», переключатель 5 в положение «СЧЕТ». Стрелочный индикатор должен показывать при этом не менее 60 мкА (60-90 мкА). Показание 60 мкА и ниже свидетельствует о низком уровне заряда аккумулятора (показанию 60 мкА соответствует напряжение питания аккумулятора 6.0 В). Ниже этого уровня заряда выполнять измерения невозможно, батарею необходимо ставить на заряд.

Наведение на отражатель выполняют в следующей последовательности:

1. Вращением окуляра зрительной трубы устанавливают резкое изображение окружностей сетки нитей.

2. Устанавливают горизонтальный и вертикальный наводящие винты в среднее положение. Ослабляют рукоятки закрепительных устройств, повернув их против часовой стрелки.

3. Если измеряемое расстояние составляет менее 400-500 м, то на объектив приемо-передатчика одевают аттенюатор.

4. С помощью зрительной трубы наводят светодальномер на отражатель, зажимают рукоятки закрепительных устройств (по часовой стрелке) и вращением наводящих винтов вводят изображение отражателя в окружности сетки нитей.

Следует иметь в виду, что при измерении небольших расстояний (порядка нескольких десятков метров) окружности сетки нитей необходимо устанавливать выше отражателя на величину расстояния между центром объектива приемо-передающего блока и центром объектива визирной трубы. В противном случае измерительный луч будет проходить ниже отражателя.

5. Включают светодальномер в режим «НАВЕД» для чего выполняют следующие действия:

- переключатель 4 устанавливают в положение «ТОЧНО»;
- переключатель 5 устанавливают в положение «НАВЕД»;
- ручку «СИГНАЛ» поворачивают примерно до середины полного ее хода;

- поочередным вращением наводящих винтов изменяют ориентирование светодальномера на отражатель в горизонтальной и вертикальной плоскости до получения сигнала; наличие сигнала индицируется звуком и отклонением стрелки прибора вправо по шкале.

6. Наводят светодальномер на отражатель по максимуму сигнала на индикаторе 1. При этом микротелефон издаст звук.

7. Наведение считается завершенным, если при поочередном вращении наводящих винтов в горизонтальной и вертикальной плоскости уровень сигнала больше не увеличивается.

После точного наведения устанавливают переключатель 5 в положение «СЧЕТ». Переключатель 4 должен находиться в положении «ТОЧНО». Сразу после переключения должен начаться процесс измерения. Однако для этого должен быть установлен определенный уровень излучаемого сигнала. Регулировка сигнала производится ручкой «СИГНАЛ». Уровень сигнала должен быть таким, чтобы стрелка индикатора находилась в середине рабочей зоны индикатора 1. В этом случае на цифровом табло периодически будет мигать красная точка, что свидетельствует о том, что идет процесс измерений и вычислений. Одновременно стрелка индикатора будет совершать колебания относительно середины рабочей зоны шкалы, т.е. относительно отметки 50 мкА. Указанные колебания связаны с изменением потребляемого прибором тока на различных этапах операции измерения.

Если уровень сигнала будет установлен меньше или больше необходимого, то на цифровом индикаторе не будет мигать красная точка, а стрелка индикатора будет стоять на месте и не колебаться. Такое поведение цифрового и стрелочного индикаторов свидетельствует о том, что процесс измерений не идет. В этом случае надо отрегулировать уровень сигнала.

Берут отсчеты по цифровому табло прибора после звукового сигнала. Отсчет высвечивается на цифровом табло в течение 2-3 секунд, после чего светодальномер вновь начинает процесс измерения. Каждый отсчет записывается в журнал измерений.

Результат считается удовлетворительным, если расхождения отсчетов не превышают 3 мм.

После измерения линии в прямом направлении меняют светодальномер и отражатель местами и измеряют расстояние в обратном направлении. После получения расстояния прямо и обратно вычисляют относительную ошибку измерения и сравнивают с допустимыми значениями, взятыми из инструкции [1]:

$$\frac{\Delta S}{S_{\text{cp}}} = \frac{S_{\text{пр}} - S_{\text{обр}}}{S_{\text{cp}}} = \frac{1}{N} < \frac{1}{5000}$$

В измеренную светодальномером наклонную длину линии на местности для получения длины этой линии на плоскости в проекции Гаусса необходимо вычислить и ввести поправки. процедура называется редуцированием линий на плоскость.

Поправка за наклон линии. Измеренная на местности линия, как правило, наклонна, и у нее известны угол наклона ν или превышение h между концевыми точками линии.

Горизонтальное проложение D вычисляют либо через угол наклона

$$D = S \cdot \cos \nu \text{ или } D = S - \Delta S,$$

где

$$\Delta S = 2 \cdot S \cdot \sin^2 \frac{\nu}{2},$$

либо через превышение по формуле

$$D = S - \frac{h^2}{2S} - \frac{h^4}{8S^3}.$$

Предпочтительнее вычислять поправку за наклон по превышению между концами линии, так как в этом случае она определяется с более высокой точностью. Поправка за наклон линии вычисляется первой, а при вычислении остальных поправок в качестве аргумента используется горизонтальное проложение D .

При измерении расстояния светодальномером может возникнуть ситуация, когда точное центрирование светодальномера и отражателя выполнить не удастся. В этом случае в горизонтальное проложение вводят **поправки за центрировку светодальномера и редуцицию отражателя**.

Поправка за высоту над уровнем моря. Эта поправка вводится в горизонтальное проложение линии для того, чтобы привести горизонтальное проложение линии к поверхности референц-эллипсоида, то есть, найти его горизонтальную проекцию D_0 . Поправка за переход к поверхности референц-эллипсоида вычисляется по формуле

$$\Delta D_H = -D \cdot \frac{H_{cp}}{R},$$

где H_{cp} – средняя высота линии над уровнем моря, R – радиус Земли.

Поправка ΔD_H называется поправкой за приведение расстояний к уровню моря или поправкой за высоту над эллипсоидом; она всегда отрицательна. Относительное искажение линии $\frac{\Delta D_H}{D}$ для разных типов рельефа колеблется от 1/64000 (равнинный тип рельефа) до 1/2000 (горный тип рельефа).

Поправка за переход к плоскости проекции Гаусса. Эта поправка вычисляется по формуле

$$\Delta D_Y = D \cdot \frac{Y^2}{2R^2},$$

где Y – расстояние линии от осевого меридиана зоны; поправка ΔL_Y всегда положительна.

Длина линии D_0 на плоскости проекции Гаусса, таким образом, получается из измеренного расстояния, исправленного за наклон линии к горизонту, за высоту линии над эллипсоидом и за переход к плоскости проекции Гаусса.

$$D_0 = S - \Delta S + \Delta D_H + \Delta D_Y .$$

Работа 5 РЕШЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ ЗАСЕЧКИ

Состав работы: Определить плановые координаты пункта, решив линейную засечку по расстояниям, измеренным светодальномером в работе 4.

Приборы и принадлежности: каталог координат исходных пунктов.

Порядок выполнения работы.

Сущность однократной линейной засечки состоит в определении координат пункта по координатам двух исходных и двум измеренным сторонам от исходных до определяемого пункта. Для повышения точности и контроля нахождения положения определяемого пункта должны быть известны координаты третьего исходного пункта и измерено расстояние до него (многократная засечка).

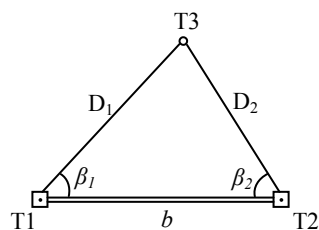


Рис.5. Однократная линейная засечка

Решение линейной засечки состоит из следующих действий:

1. Решение обратной геодезической задачи между исходными пунктами T1 и T2 и получение дирекционного угла α_{T1-T2} и длины b линии АВ.
2. В треугольнике по теореме косинусов вычислить углы β_1 и β_2 по формулам:

$$D_2^2 = b^2 + D_1^2 - 2 \cdot b \cdot D_1 \cdot \cos \beta_1,$$

$$D_1^2 = b^2 + D_2^2 - 2 \cdot b \cdot D_2 \cdot \cos \beta_2;$$

3. Вычислить угол засечки γ этого же треугольника

$$\gamma = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2);$$

4. Вычислить дирекционные углы сторон Т1-Т3 и Т2-Т3:

точка Т3 справа от линии Т1-Т2

$$\alpha_{Т1-Т3} = \alpha_{Т1-Т2} + \beta_1,$$

$$\alpha_{Т2-Т3} = \alpha_{Т2-Т1} - \beta_2;$$

точка Т3 слева от линии Т1-Т2

$$\alpha_{Т1-Т3} = \alpha_{Т1-Т2} - \beta_1,$$

$$\alpha_{Т2-Т3} = \alpha_{Т2-Т1} + \beta_2.$$

Дирекционный угол $\alpha_{Т1-Т2}$ следует взять из решения обратной геодезической задачи между точками Т1 и Т2, обратный дирекционный угол найти как

$$\alpha_{Т2-Т1} = \alpha_{Т1-Т2} \pm 180^\circ;$$

5. Решить прямые геодезические задачи:

из пункта Т1 на точку Т3

$$X_{Т3} = X_{Т1} + D_1 \cdot \cos \alpha_{Т1-Т3},$$

$$Y_{Т3} = Y_{Т1} + D_1 \cdot \sin \alpha_{Т1-Т3},$$

и из пункта Т2 на точку Т3

$$X_{Т3} = X_{Т2} + D_2 \cdot \cos \alpha_{Т2-Т3},$$

$$Y_{Т3} = Y_{Т2} + D_2 \cdot \sin \alpha_{Т2-Т3}.$$

Расхождение координат X и Y по двум решениям не должно превышать величины, соответствующей точности вычислений.

6. Вычислить ошибку положения точки Т3 по формуле

$$M_{Т3} = \frac{\sqrt{m_{D_1}^2 + m_{D_2}^2}}{\sin \gamma},$$

где m_{D_1} и m_{D_2} – СКП измерения сторон.

Рекомендательный библиографический список:

1. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – М.: Недра, 1982.
2. *Михаленко Е.Б.* Инженерная геодезия. Геодезические сети и их развитие: учеб. пособие / Е.Б. Михаленко [и др.]; под науч. ред. Е.Б. Михаленко. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 79 с.
3. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. ГКИНТП (ГНТА) -01-006-03. – М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 2004.
4. *Поклад Г.Г.* Геодезия: учеб. пособие / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – М.: Академический проект, 2007. – 592 с.
5. *Селиханович В.Г.* Практикум по геодезии: учеб. пособие / Под ред. В.Г. Селиханович. 2-е изд., стереотипное. – М.: Альянс, 2006. – 382 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Устройство и проверки теодолита 2Т2.....	4
2. Измерение направлений способом круговых приемов и решение обратной угловой засечки.....	8
3. Измерение горизонтальных углов способом приемов и решение прямой угловой засечки.....	13
4. Измерение расстояний светодальномером СТ5 «Блеск».....	17
5. Решение линейной засечки.....	22
Рекомендательный библиографический список.....	24