Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

Е.С. Богданец, А.Р. Зырянов, О.О. Лебедева

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ПРИБОРЫ И ТЕХНОЛОГИИ

В двух частях

Часть 1

Маркшейдерско-геодезические приборы

Утверждено
Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебно-методического пособия

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2021

УДК 528.5.06(072.8)
ББК 33.12я73
Б73

Рецензенты:
канд. техн. наук, доцент *В.Б. Замотин*
(ООО «Центр экспертизы «Недра Урала», г. Пермь);

канд. техн. наук, доцент *В.В. Мусихин*
(Пермский национальный исследовательский
политехнический университет)

Богданец, Е.С.

Б73 Маркшейдерские приборы и технологии : в 2 ч. : учеб.-метод. пособие / Е.С. Богданец, А.Р. Зырянов, О.О. Лебедева. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2021.

ISBN 978-5-398-02599-6

Ч. 1: Маркшейдерско-геодезические приборы. – 87 с.

ISBN 978-5-398-02600-9

Рассмотрены теория, устройство, методы поверок и исследований геодезических приборов и инструментов.

Представлены задания и учебный материал по основным темам учебной программы для проведения лабораторных работ. В процессе выполнения заданий студенты изучают устройство оптических и цифровых геодезических инструментов. Выполняют различные исследования теодолита, нивелира и рейки. Знакомятся с устройством электронного тахеометра и с его помощью выполняют ряд маркшейдерских задач.

Предназначено для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело», специализации «Маркшейдерское дело».

УДК 528.5.06(072.8)
ББК 33.12я73

ISBN 978-5-398-02600-9 (Ч. 1)
ISBN 978-5-398-02599-6

© ПНИПУ, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 4

1. Исследование погрешности совмещения изображений противоположных штрихов лимба теодолитов типа Т2 5

2. Исследование рена шкалового микроскопа 16

3. Определение оптических характеристик зрительной трубы 23

4. Определение эксцентриситета алидады 33

5. Поверки нивелира 40

6. Проверка правильности нанесения делений шкал рейки 48

7. Определение цены деления уровня 60

8. Исследование средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла 69

9. Съемка подземных горных выработок. Решение маркшейдерских задач при проведении горных выработок 76

Список литературы 84

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Маркшейдерские приборы и технологии» включает два основных курса – «Маркшейдерско-геодезические приборы» и «Программное обеспечение и технологии».

В данном учебно-методическом пособии представлены лабораторные работы для освоения первой части дисциплины.

Одним из основных навыков горных инженеров, осуществляющих маркшейдерское обеспечение на предприятии, является умение работать с маркшейдерско-геодезическими приборами.

На современном этапе маркшейдер обязан знать теоретические основы приборной оптики, особенности устройства маркшейдерско-геодезических приборов, уметь исследовать приборные характеристики и грамотно их анализировать, а также владеть навыками работы как с оптическими, так и с электронными приборами с целью решения конкретных маркшейдерских задач.

Главной задачей лабораторных работ по данному курсу является освоение особенностей работы с различными маркшейдерско-геодезическими приборами, а также формирование навыков обработки, анализа и интерпретации результатов измерений.

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ СОВМЕЩЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРОТИВОПОЛОЖНЫХ ШТРИХОВ ЛИМБА ТЕОДОЛИТОВ ТИПА Т2

Цель работы: практическое освоение принципов отсчитывания по горизонтальному и вертикальному кругам теодолитов Т2, 2Т2, 3Т2КП, исследование погрешности совмещения изображений противоположных штрихов лимба горизонтального круга теодолитов типа Т2 (исследование правильности работы микрометра).

Задачи:

1. Ознакомиться с отчетным устройством теодолита типа Т2.

2. Освоить на практике принципы работы отсчетной системы данного прибора.

3. Определить среднюю квадратическую погрешность и проанализировать полученные результаты (по ГК и ВК).

Приборы и принадлежности: точные теодолиты серии Т2 (2Т2, 2Т2А, 3Т2КП), штатив, подставка.

Устройство и принцип работы теодолита 2Т2

Теодолит 2Т2 предназначен для измерения углов в триангуляции и полигонометрии, в прикладной геодезии. Он может быть использован для измерения расстояний нитяным дальномером и определения магнитных азимутов с помощью буссоли [1].

С помощью отсчетных устройств в теодолитах считывают показания с лимбов. В современных теодолитах предпочтение отдают хорошо зарекомендовавшим себя штриховым микроскопам (отсчет по штриху-индексу) и шкаловым микроскопам (отсчет по шкале), и лишь для теодолитов, в которых требуется очень высокая точность отсчитывания (2″ и точнее), применяются микрометры [2, с. 15].

Оптический микрометр – это измерительное устройство, основным элементом которого является оптическая система, имеющая по меньшей мере одну подвижную часть и связанную с ней шкалу для определения перемещения этой части [3, с. 168].

Ход лучей в отсчетном микроскопе алидады горизонтального круга у теодолитов типа Т2–ЗТ2КП практически одинаков (рис. 1.1).

Параллельный пучок света падает на зеркало *1* (в полевых условиях наибольшее освещение дает фон неба) и от него на иллюминатор *2*, иллюминатор имеет матовое покрытие, поэтому после него в поперечном сечении пучка света наблюдается одинаковая освещенность по полю. Далее, отразившись от зеркала *3* и призмы БР-180° *5* с коллективом *4*, пучок света освещает лимб алидады горизонтального круга *6*. Цена деления лимба 20′, штрихи бифилярные, сплошная оцифровка градусов в пределах 360°. Промежуточное изображение штрихов и градусов образуется с помощью призм *7*, *11* и микрообъективов *8*, *10* в масштабе 1:1 на противоположном участке лимба. Далее полученное промежуточное изображение лимба и противоположный участок лимба с помощью микрообъективов *14* и *15* через пары неподвижных *16* и подвижных *17* клиньев и призму *18* проецируется на разделительную границу блока *18–20*. Пентапризма *22* и микрообъектив *24* необходимы для рассматривания изображений круга в фокальной плоскости окуляра *25*.

Ход лучей в клиньях оптического микрометра показан на рис. 1.2.

В оптическом микрометре подвижная пара клиньев жестко соединена со шкалой. При перемещении подвижных клиньев изображения частей круга перемещаются навстречу друг другу, проходя равные расстояния, поэтому при цене деления лимба 20' достаточно диапазона шкалы 10′.

Принцип формирования изображений от вертикального круга теодолитов Т2 и 2Т2 аналогичен рассмотренному выше для горизонтального круга.

В теодолите 2Т2 при отсчитывании необходимо выполнить следующие действия:

1) Барабанчиком оптического микрометра совместить штрихи противоположных участков лимба в нижнем левом окне.

2) В левом верхнем окне напротив шкалы десятков минут просчитать количество градусов «**98**», спроецировав середину градусного числа на шкалу десятков минут, просчитать количество десятков «**2**» (рис. 1.3).

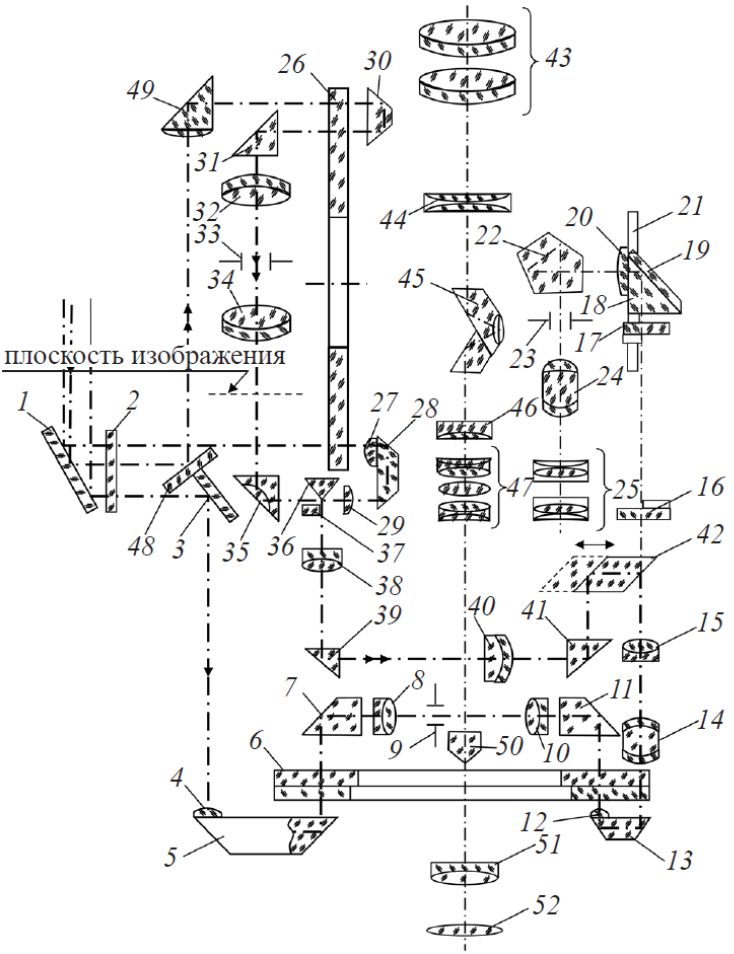


Рис. 1.1. Оптическая схема теодолита 2Т2

3) В правом окне напротив неподвижной нити-индекса слева просчитать количество минут «**8**».

4) В правом окне справа просчитать оцифрованные десятки секунд «**10**», секунды «**6**» и оценить на глаз десятые доли секунды «**5**».

Следовательно, отсчет составляет **98°28′16,5″**.

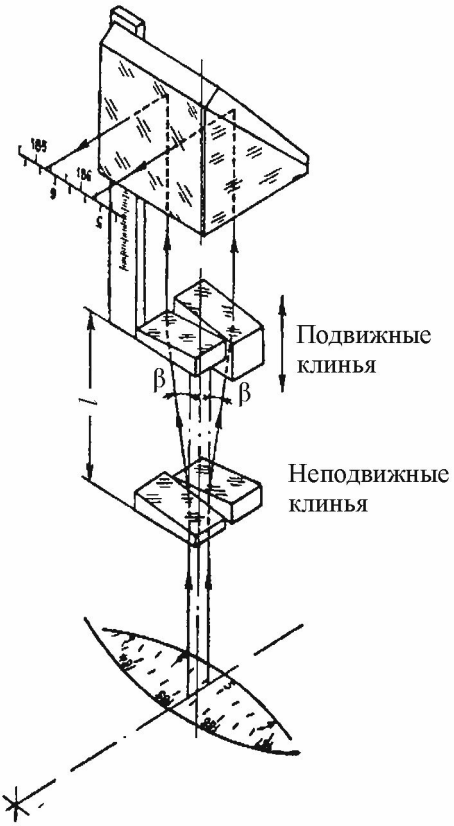


Рис. 1.2. Схема хода лучей в клиньях
оптического микрометра

Необходимо помнить, что при отсчетах, близких к целому количеству десятков минут, может возникнуть неоднозначность, поэтому при определении десятков необходимо определить минуты и, если количество минут 1–2 – считать десятки под градусами, если количество минут 8–9 – считать предыдущее количество десятков [4, с. 98].

Отсчетная система теодолита двухканальная: изображения горизонтального и вертикального кругов проецируется на плоскость шкалы микрометра по двум независимым оптическим системам. Пе-

реключение кругов осуществляют введением в ход лучей ромбпризмы *16* (см. рис. 1.1), которая перемещается рукояткой переключателя на 90° (рис. 1.4). При горизонтальном положении рукоятки в поле зрения микроскопа видно изображение горизонтального круга с двойными штрихами, при вертикальном положении – изображение вертикального круга [1].

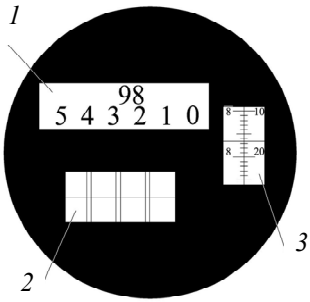


Рис. 1.3. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 2Т2

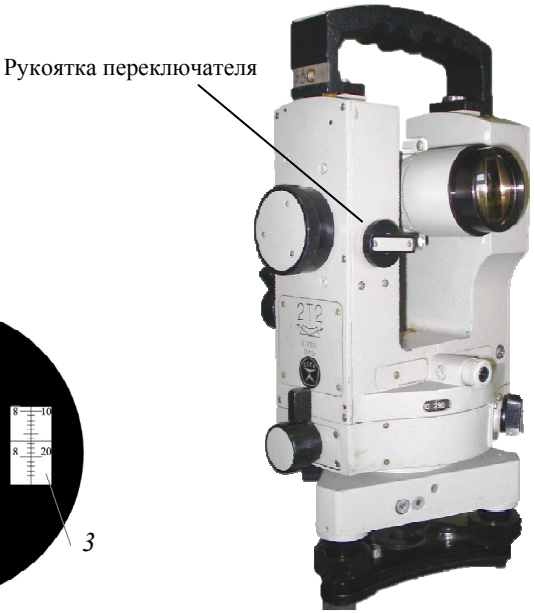


Рис. 1.4. Теодолит 2Т2 (горизонтальное положение рукоятки переключателя)

Перед каждым отсчетом по шкале оптического микрометра производится совмещение изображений штрихов шкал лимба. От точности совмещения этих штрихов зависит точность отсчета по шкале микрометра. На погрешность совмещения штрихов влияет степень правильности работы микрометра и личные погрешности наблюдателя, так как изображения штрихов совмещаются на глаз. Если при исследованиях совмещение штрихов лимба превысило допустимое значение, $m_{\text{совм}} > m_{\text{совм доп}}$, то возможны следующие действия:

- вводится поправка за эту погрешность, если это возможно;
- прибор используется при выполнении менее точных работ, если на это согласен пользователь;
- используется методика измерений, при которой происходит компенсация данной погрешности;
- инструмент исправляется в мастерской, если это экономически целесообразно;
- производится списание прибора (крайние меры).

Работу микрометра следует исследовать по всей его рабочей части. Чтобы исключить влияние мертвого хода, совмещение штрихов следует делать только поворотом барабана микрометра по ходу часовой стрелки.

Математическая обработка суммарного влияния различных погрешностей (как приборных, так и физиологических), а также опыт разработки и эксплуатации теодолитов показывают, что предельная погрешность отсчета не должна превышать величины средней квадратической погрешности измерения угла данным прибором и должна быть близкой к ней.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Устанавливаем на лимбе отсчет, близкий к 0°. Совмещаем первую пару противоположных (верхних и нижних) штрихов лимба и берем отчет α_1.

2. При том же положении лимба совмещаем вторую пару противоположных штрихов лимба и берем отсчет α_2, при этом возможны два варианта (рис. 1.5):

а) если в центральном окошке совмещения штрихов лимба видны три пары штрихов (рис. 1.5, *а*), то сначала берется отсчет по левым штрихам α_1, а потом – по центральным α_2;

б) если в центральном окошке совмещения штрихов лимба видны четыре пары штрихов (рис. 1.5, *б*), то сначала берется отсчет по левым центральным штрихам α_1, а потом – по правым центральным α_2.

а *б*

Рис. 1.5. Два варианта совмещения штрихов лимба

3. Совмещения выполняются по всей окружности лимба через 5°. Для горизонтального круга от 0 до 355°, а для вертикального – от 60 до 120°.

Порядок обработки результатов измерений

1. Вычисляем разность d_i между отсчетами α_1 и α_2 для каждого положения лимба.

2. Исключаем грубые ошибки. Грубыми следует считать результаты наблюдений, где разность отсчетов при двух совмещениях превышает 2″ для теодолита 2Т2 (2Т2А), т.е.

$$d_i < 2\sqrt{2}m_{\text{совм}}, \tag{1.1}$$

где $m_{\text{совм}}$ – средняя квадратическая ошибка совмещения штрихов лимба. Для горизонтального круга $m_{\text{совм}}$ не должна превышать 0,5″, для вертикального – 0,6″ [5, с. 237].

3. Вычисляем среднюю квадратическую ошибку совмещения штрихов лимба $m_{\text{совм}}$.

Если $\frac{\left|\sum d_i\right|}{n} \geq 0{,}3''$, то вычисления производятся по следующей формуле:

$$m_{\text{совм}} = \sqrt{\frac{\sum d_i'^2}{2(n-1)}}, \tag{1.2}$$

где n – количество установок при перестановке круга через 5°; d_i' – это d_i с учетом исключения остаточного систематического влияния:

$$d_i' = d_i - \frac{\sum d_i}{n}. \quad (1.3)$$

Если $\frac{\left|\sum d_i\right|}{n} < 0,3''$, то вычисления производятся по следующей формуле:

$$m_{\text{совм}} = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2n}}. \quad (1.4)$$

4. По итогам проведенного исследования необходимо сделать вывод о погрешности совмещения.

Обработка результатов измерений

Для начала произведем обработку отсчетов при горизонтальном круге (ГК) (табл. 1.1), а потом при вертикальном круге (ВК) (табл. 1.2).

Таблица 1.1

Результаты измерений совмещения штрихов лимба горизонтального круга

Дата: 03.09.2014 Наблюдал: Петров И.И.

№ п/п	Установка лимба, °	Отсчеты				d_i	d_i^2
		α_1		α_2			
		′	″	′	″	″	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	40	11	40	11,5	-0,5	0,25
2	5	24	29	24	28,8	0,2	0,04
3	10	26	39,5	26	39	0,5	0,25
4	15	25	47,5	25	47	0,5	0,25
5	20	24	26,1	24	25,9	0,2	0,04
6	25	31	58,2	31	58	0,2	0,04
7	30	24	6,7	24	6,4	0,3	0,09
8	35	35	51	35	51,5	-0,5	0,25
9	40	41	25	41	25,5	-0,5	0,25
10	45	11	14,2	11	14	0,2	0,04
11	50	19	58,7	19	58	0,7	0,49
~~12~~	~~55~~	~~44~~	~~19,8~~	~~44~~	~~17,5~~	~~2,3~~	~~5,29~~

Продолжение табл. 1.1

№ п/п	Установка лимба, °	Отсчеты				d_i	d_i^2
		α_1		α_2			
		′	″	′	″	″	
~~13~~	~~60~~	~~21~~	~~35,6~~	~~21~~	~~38~~	~~-2,4~~	~~5,76~~
14	65	32	12	32	12,2	-0,2	0,04
15	70	24	20	24	20,5	-0,5	0,25
16	75	15	22,5	15	23,5	-1	1
17	80	36	56	36	56,2	-0,2	0,04
18	85	19	8	19	8,5	-0,5	0,25
19	90	34	26,6	34	26	0,6	0,36
20	95	29	22	29	20	2	4
21	100	20	10,9	20	10,5	0,4	0,16
22	105	17	32	17	32,5	-0,5	0,25
23	110	27	55,2	27	55	0,2	0,04
24	115	32	38	32	40	-2	4
~~25~~	~~120~~	~~17~~	~~52,1~~	~~17~~	~~47,9~~	~~4,2~~	~~17,64~~
26	125	44	45	44	44	1	1
27	130	27	31,8	27	32,7	-0,9	0,81
~~28~~	~~135~~	~~18~~	~~0,1~~	~~18~~	~~2,6~~	~~-2,5~~	~~6,25~~
29	140	16	24,5	16	25,2	-0,7	0,49
30	145	34	52,2	34	52	0,2	0,04
31	150	26	41	26	40,1	0,9	0,81
32	155	36	56,9	36	56,5	0,4	0,16
33	160	27	34	27	34,3	-0,3	0,09
34	165	16	15,3	16	15,9	-0,6	0,36
35	170	32	29,7	32	28,7	1	1
1	2	3	4	5	6	7	8
36	175	26	0,1	26	0,8	-0,7	0,49
37	180	21	44,5	21	44	0,5	0,25
38	185	31	47,5	31	47,2	0,3	0,09
39	190	25	5,5	25	6	-0,5	0,25
40	195	30	18,1	30	18,5	-0,4	0,16
41	200	20	8,1	20	9	-0,9	0,81
42	205	33	16,6	33	16	0,6	0,36
43	210	32	7,1	32	6,9	0,2	0,04
44	215	25	50	25	51	-1	1
45	220	37	25	37	25,5	-0,5	0,25
46	225	22	9,2	22	8,9	0,3	0,09

Окончание табл. 1.1

№ п/п	Установка лимба, °	Отсчеты				d_i	d_i^2
		α_1		α_2			
		′	″	′	″	″	
47	230	25	43	25	43,2	-0,2	0,04
48	235	41	28,6	41	28	0,6	0,36
49	240	28	16,3	28	16,1	0,2	0,04
50	245	8	43,5	8	42,5	1	1
51	250	32	13	32	13,2	-0,2	0,04
~~52~~	~~255~~	~~25~~	~~47,8~~	~~25~~	~~52,5~~	~~-4,7~~	~~22,09~~
53	260	28	48,9	28	48,5	0,4	0,16
54	265	32	10,9	32	11	-0,1	0,01
55	270	15	17	15	17,2	-0,2	0,04
56	275	27	34	27	32,8	1,2	1,44
57	280	16	0,9	16	0,5	0,4	0,16
58	285	22	52,3	22	52	0,3	0,09
59	290	17	50,1	17	50	0,1	0,01
60	295	17	40	17	39,2	0,8	0,64
61	300	28	15,9	28	15,5	0,4	0,16
~~62~~	~~305~~	~~23~~	~~18,6~~	~~23~~	~~15,5~~	~~3,1~~	~~9,61~~
63	310	14	33,6	14	33	0,6	0,36
64	315	26	46	26	48	-2	4
65	320	32	48	32	47,8	0,2	0,04
66	325	26	39,5	26	40	-0,5	0,25
~~67~~	~~330~~	~~33~~	~~19,3~~	~~33~~	~~23,5~~	~~-4,2~~	~~17,64~~
68	335	16	36	16	35,5	0,5	0,25
69	340	17	19,2	17	19	0,2	0,04
70	345	30	10,1	30	9,8	0,3	0,09
71	350	32	18,8	32	19	-0,2	0,04
72	355	34	33	34	32,5	0,5	0,25
						$\sum d_i = 2,8$	$\sum d_i^2 = 30,4$

***Контроль**:* разность отсчетов при двух смещениях не должна превышать 2″. Грубые измерения составили 10 % и были исключены из дальнейших вычислений. В разностях d_i не имеет места система-

тическая погрешность, так как $\frac{\sum d_i}{n} < 0,3''$, поэтому вычисления $m_{\text{совм}}$ выполняются по формуле (1.4). Тогда, $m_{\text{совм}} = \sqrt{\frac{30,44}{2 \cdot 65}} = 0,48''$.

Таблица 1.2

Результаты измерений совмещения штрихов лимба вертикального круга

Дата: 04.09.2014 Наблюдал: Иванов И.И.

№ п/п	Установка лимба, °	Отсчеты				d_i	d_i'	$d_i'^2$
		α_1		α_2				
		′	″	′	″	″		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	60	29	49	29	48,3	0,7	-0,40	0,16
~~2~~	~~65~~	~~34~~	~~2,2~~	~~34~~	~~0,1~~	~~2,1~~	~~1,00~~	~~1,00~~
3	70	28	26,8	28	25,3	1,5	0,40	0,16
4	75	1	54,8	1	54,1	0,7	-0,40	0,16
5	80	24	33,1	24	31,8	1,3	0,20	0,04
6	85	13	35,2	13	35	0,2	-0,90	0,81
7	90	25	46,1	25	44,7	1,4	0,30	0,09
~~8~~	~~95~~	~~31~~	~~22,2~~	~~31~~	~~25~~	~~-2,8~~	~~-3,90~~	~~15,21~~
9	100	16	4,8	16	3	1,8	0,70	0,49
10	105	34	35	34	34,5	0,5	-0,60	0,36
11	110	25	39,9	25	38,5	1,4	0,30	0,09
12	115	30	38,5	30	37	1,5	0,40	0,16
						$\sum d_i = 11$	–	$d_i'^2 = 2,5$

Контроль: разность отчетов при двух смещениях не должна превышать 2″. Грубые измерения составили 17% и были исключены из дальнейших вычислений.

В разностях d_i имеет место систематическая погрешность, так как $\frac{\sum d_i}{n} \geq 0,3''$, поэтому вычисления $m_{\text{совм}}$ выполняются по формуле (1.2). Тогда, $m_{\text{совм}} = \sqrt{\frac{2,52}{2 \cdot 9}} = 0,37''$.

***Вывод**:* теодолит 2Т2 №12179 имеет погрешность совмещения лимба горизонтального круга $m_{\text{совм}} = 0,48'' < m_{\text{совм доп}} = 0,5''$, а вертикального – $m_{\text{совм}} = 0,37'' < m_{\text{совм доп}} = 0,6''$.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНА ШКАЛОВОГО МИКРОСКОПА

Цель: изучить устройство теодолита 2Т5К, исследовать рен шкалового микроскопа горизонтального круга теодолита 2Т5К.

Задачи:

1. Ознакомиться с отсчетным устройством теодолита типа 2Т5К.
2. Освоить на практике принципы работы отсчетной системы данного прибора.
3. Определить рен шкалового микроскопа и составить таблицу поправок.
4. Проанализировать полученные результаты.

Приборы и принадлежности: теодолит 2Т5К, штатив, подставка.

Устройство и принцип работы теодолита 2Т5К

Теодолит 2Т5К предназначен для измерения углов в теодолитных ходах, аналитических сетях и полигонометрии 1 и 2 разрядов. В отчетной системе применен шкаловой микроскоп с ценой деления 1′ и круги разделены через 1° одинарными штрихами [6, с. 30–31].

Шкаловой микроскоп – это отсчетное устройство, которое широко распространено в современных оптических приборах технической точности и точных с односторонним отсчетом по лимбу [7, с. 9].

Для правильной работы шкалового микроскопа необходимо соблюдение следующих условий:

- деления лимба и шкалы должны быть видны без параллакса.

Параллакс – кажущееся смещение шкалы вследствие перемещения глаза наблюдателя в какую-либо сторону;

- штрихи делений лимба должны быть параллельны штрихам делений шкалы;
- длина шкалы микроскопа должна быть равна длине одного деления лимба.

На рис. 2.1 показана оптическая схема теодолита 2Т5К. Объектив, фокусирующая линза *5*, сетка *7* и окуляр *9* образуют зрительную трубу с ахроматической коррекцией.

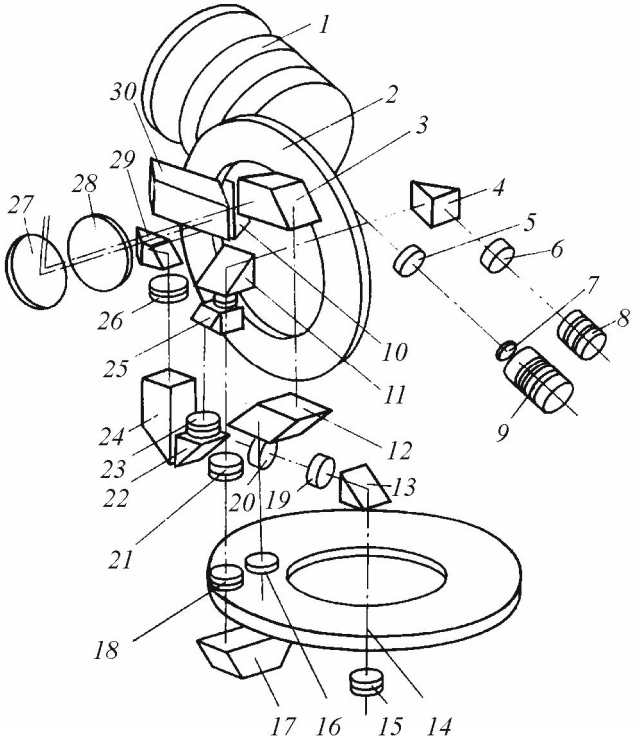


Рис. 2.1. Оптическая схема теодолита 2Т5К

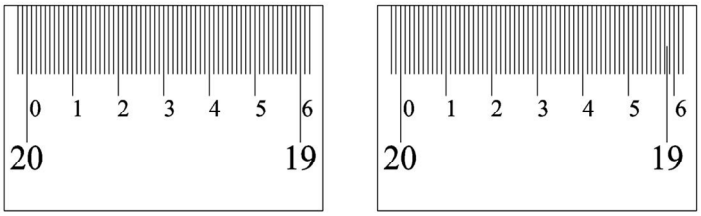
Оптическая схема отсчетной системы двухканальная – изображения штрихов горизонтального и вертикального круга проецируются по двум независимым оптическим каналам. Угломерные круги освещаются через иллюминатор *28* с помощью зеркала *27*. Призмой *3* пучок лучей направляется на ромб-призму *12* с коллективной линзой

и далее через коллективную линзу *16* на горизонтальный круг *14*. Освещенные штрихи горизонтального круга с помощью призмы *17*, линз *18* и *21* объектива горизонтального круга проецируются в плоскость шкалы, нанесенной на коллективной линзе, приклеенной к ромбу-призме *25*.

Участок вертикального круга освещается с помощью ромба-призмы *30* с коллективной линзой, а также блока *10*, состоящего из призмы и приклеенных к ней светофильтра и рассеивающей линзы. Изображение штрихов вертикального круга с помощью призм *29*, *24*, *22* и *25*, а также *26* и *23* объектива вертикального круга проецируется в плоскость шкалы. Призма *22* установлена на маятниковом подвесе, принимает определенное положение в пространстве при наклоне теодолита, выполняя роль оптического компенсатора самоустанавливающегося индекса вертикального круга. На половине отражающей грани ромба-призмы *25* нанесено зеркальное покрытие, а вся отражающая грань заклеена прямоугольной призмой АР-90°. Таким образом, граница зеркального покрытия является разделительной линией, отделяющей изображение штрихов вертикального круга от изображения горизонтального. Эта граница совпадает с перемычкой диафрагмы, нанесенной на плоскости шкалы. Далее изображение штрихов обоих кругов вместе с изображением шкал передаются в фокальную плоскость окуляра микроскопа с помощью объектива *6* и призм *11* и *4*.

При отсчете по шкале оптического отсчетного приспособления может появиться ошибка, причиной которой является рен, *r*. *Рен* – это разность (несоответствие) между действительной ценой деления лимба и определенной с помощью шкалового микроскопа [4, с. 144].

Если совместить нулевой штрих шкалы шкалового микроскопа с каким-либо штрихом шкалы лимба, то *n*-й штрих шкалы должен точно совпасть с соседним штрихом лимба (рис. 2.2, *а*). Но из-за мелких погрешностей при сборке и юстировке оптической системы прибора этого может и не быть (рис. 2.2, *б*). Значение рена просто считывается по положению штриха лимба. На рис. 2.2, *б* $r = 1{,}5'$.



а *б*

Рис. 2.2. Схема шкалового микроскопа

Рен исследуют по всей окружности лимба через 5° и вычисляют среднее значение рена $r_{ср}$. Это необходимо для вычисления поправки p в одну минуту. Поправка вводится в минуты. Например, при $p = 0,08''$ поправка в отсчет 50°48,7′ (50°48′42″) будет равна $p = 48,7 \cdot 0,03 = 3,9''$. Следовательно, отсчет будет равен 50°48′46″. Для удобства составляют таблицу поправок.

Систематическая погрешность несовпадения последнего штриха шкалы со штрихом круга не должна превышать 6″ (0,1 наименьшего деления шкалы микроскопа). Если рен превышает указанные допуски, то требуется сдать прибор в мастерскую или исправить самостоятельно. Для этого необходимо ослабить винты, крепящие оправы линз микроскопа горизонтального (или вертикального) круга. Передвигая линзы вдоль оси микроскопа и изменяя увеличение микроскопа, добиваются одинакового увеличения шкалы и штрихов лимба горизонтального (вертикального) круга, устраняя тем самым рен [7, с. 16].

Известны два метода исследования рена: непосредственное сравнение интервала деления лимба со шкалой микроскопа и использование «образцового» теодолита или коллиматора. Рассмотрим на практике применение первого метода.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Штрих лимба (φ) горизонтального круга совмещаем со штрихом 0 шкалы микроскопа.

2. Относительно штриха ($\varphi - 1°$) лимба по шкале вблизи 60′ берем отсчет a (в минутах с точностью 0,1).

3. Совмещения выполняются по всей окружности лимба через 5° (т.е. $\varphi = 5°,10°,15°,20°...$).

Порядок обработки результатов измерений

1. Вычисляем рен для каждого положения лимба по следующей формуле:

$$r = 60 - a\,. \tag{2.1}$$

2. Вычисляем среднее значение рена (в секундах):

$$r_{\text{ср}} = \frac{\sum r \cdot 60}{n}, \tag{2.2}$$

где $\sum r$ – сумма ренов (в минутах); n – количество измерений (в нашем случае n = 72).

3. Вводим поправку на одну минуту отчёта p и составляем таблицу поправок Поправка рассчитывается по следующей формуле:

$$p = \frac{r_{\text{ср}}}{n'}, \tag{2.3}$$

где n' – количество делений шкалового микроскопа в одном градусе, $n' = 60$.

4. По итогам проведенного исследования необходимо сделать вывод.

Обработка результатов измерений

Для начала вычислим для каждого положения лимба рен и его среднее значение (табл. 2.1), а потом составим таблицу поправок (табл. 2.2).

Из таблицы следует, что $\sum r = 2,1'$. Тогда, $r_{\text{ср}} = 1,8''$.

Таблица 2.1

Вычисление рена по результатам измерений

Дата: 10.09.2014 Наблюдал: Петров И.И.

№ п/п	Установка лимба, °	*a,′*	*r* = 60-*a*	№ п/п	Установка лимба, °	*a,′*	*r* = 60-*a*
1	5	59,8	0,2	37	185	60	0
2	10	59,9	0,1	38	190	60	0
3	15	59,9	0,1	39	195	59,9	0,1
4	20	60	0	40	200	59,9	0,1
5	25	59,9	0,1	41	205	60	0
6	30	60	0	42	210	59,9	0,1
7	35	60	0	43	215	60	0
8	40	60,1	-0,1	44	220	60	0
9	45	59,9	0,1	45	225	60	0
10	50	59,9	0,1	46	230	60	0
11	55	60	0	47	235	60	0
12	60	60	0	48	240	60	0
13	65	59,9	0,1	49	245	59,9	0,1
14	70	60,1	-0,1	50	250	60	0
15	75	59,9	0,1	51	255	60,1	-0,1
16	80	59,9	0,1	52	260	60	0
17	85	60	0	53	265	60	0
18	90	59,9	0,1	54	270	59,9	0,1
19	95	59,8	0,2	55	275	60,1	-0,1
20	100	60	0	56	280	59,9	0,1
21	105	60	0	57	285	60	0
22	110	60	0	58	290	59,9	0,1
23	115	60	0	59	295	60	0
24	120	60	0	60	300	60	0
25	125	59,9	0,1	61	305	60,1	-0,1
26	130	60	0	62	310	60	0
27	135	59,9	0,1	63	315	59,9	0,1
28	140	60	0	64	320	60,1	-0,1
29	145	60	0	65	325	60	0

Окончание табл. 2.1

№ п/п	Установка лимба, °	$a,'$	$r = 60\text{-}a$	№ п/п	Установка лимба, °	$a,'$	$r = 60\text{-}a$
30	150	60	0	66	330	60	0
31	155	60,1	-0,1	67	335	60	0
32	160	60	0	68	340	59,9	0,1
33	165	59,9	0,1	69	345	60	0
34	170	60	0	70	350	59,9	0,1
35	175	60	0	71	355	60	0
36	180	59,9	0,1	72	360	59,9	0,1

***Контроль**:* систематическая погрешность несовпадения последнего штриха шкалы со штрихом круга не превышает $6''$.

Далее вычислим поправку на одну минуту отчёта p. Тогда $p = \frac{r_{ср}}{n'} = \frac{1,8}{60} = 0,03''$.

Таблица 2.2

Таблица поправок

$kv_0,'$	1	2	3	4	5	6	7	8
$kv_0 p,''$	+0,03	+0,06	+0,09	+0,12	+0,15	+0,18	+0,21	+0,24

$kv_0,'$	9	10	20	30	40	50	60
$kv_0 p,''$	+0,27	+0,30	+0,60	+0,90	+1,20	+1,50	+1,80

Примечание: kv_0 – отсчет в минутах, $kv_0 p$ – поправка в отсчет в секундах.

Вывод: рен шкалового микроскопа горизонтального круга теодолита 2Т5К №35791 равен $1,8''$, что не превышает допустимую величину $r_{доп} = 6''$.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ

Цель: определить оптические характеристики зрительной трубы электронного тахеометра Lecia TS06plus..

Задачи:

1. Ознакомиться с устройством электронного тахеометра Lecia TS06plus.

2. Исследовать оптические характеристики зрительной трубы тахеометра Lecia TS06plus.

3. Написать общий вывод и проанализировать полученные результаты по каждой характеристике.

Приборы и принадлежности: электронный тахеометр Lecia TS06plus, штатив, подставка, шашечная рейка, рулетка, штангенциркуль (линейка), калька.

Общие сведения об электронном тахеометре

Электронным тахеометром называют устройство, объединяющее в себе теодолит и светодальнометр. Неотъемлемой частью современных тахеометров является микроЭВМ, позволяющая автоматизировать процесс измерения и контроля, выполнять заданную программу измерения, освободив от большого объема вычислений [2, с. 246]. Использование электронных тахеометров позволило полностью отказаться от ведения полевого журнала.

Электронные тахеометры позволяют создать автоматизированный геодезический комплекс: тахеометр – регистратор информации – преобразователь – ЭВМ – графопостроитель, обеспечивающий получение конечного продукта геодезических измерений – карт и планов в автоматическом режиме и сводящий к минимуму персональные, личные ошибки наблюдателя, оператора, вычислителя.

Электронные тахеометры могут быть разделены на две группы приборов:

1) Электронные тахеометры с визуальной фиксацией показаний с угломерных кругов. Результаты измерения углов вводятся в вычислительное устройство с помощью клавиатуры.

2) Электронные тахеометры с автоматической фиксацией показаний с угломерных кругов. Результат измерения выводится на цифровом табло и автоматически вводится в регистр памяти вычислительного устройства.

Результаты измерения наклонных расстояний в обоих случаях вводятся в вычислительное устройство автоматически. Электронный тахеометр Lecia TS06plus относится ко второй группе приборов (рис. 3.1).

Рис. 3.1. Электронный тахеометр Lecia TS06plus

Тахеометр можно разделить на следующие блоки: корпус прибора, зрительная труба с встроенным дальномером, компенсатор, отвес или центрир, блок управления, батарея и трегер. В данной лабораторной работе нас интересует зрительная труба с встроенным дальномером, которая состоит из оптической и электронной частей. Оптическая часть включает в себя объектив и окуляр, а электронный блок – непосредственно лазерный дальномер, совмещенный с осью зрительной трубы, и блок анализатора, который определяет расстояние до цели [8].

Объектив зрительной трубы должен быть всегда собирательной системой, окуляр же может быть как собирательной (труба Кеплера), так и рассеивающей системой (труба Галилея). В электронном тахеометре Lecia TS06plus применена труба Кеплера (рис. 3.2).

На рис. 3.2 F_1' и F_2' – задний фокус объектива и окуляра соответственно; F_2 – передний фокус окуляра; f_1' и f_2' – заднее фокусное расстояние объектива и окуляра соответственно; f_2 – переднее

фокусное расстояние окуляра; $D_{вх}$ и $d_{вых}$ – диаметры зрачков входного и выходного отверстия трубы соответственно, мм.

На практике студентам необходимо исследовать следующие оптические характеристики зрительной трубы:

1. увеличение;
2. поле зрения;
3. угловое расстояние биссектора;
4. разрешающая способность;
5. яркость изображений трубы;
6. качество изображения.

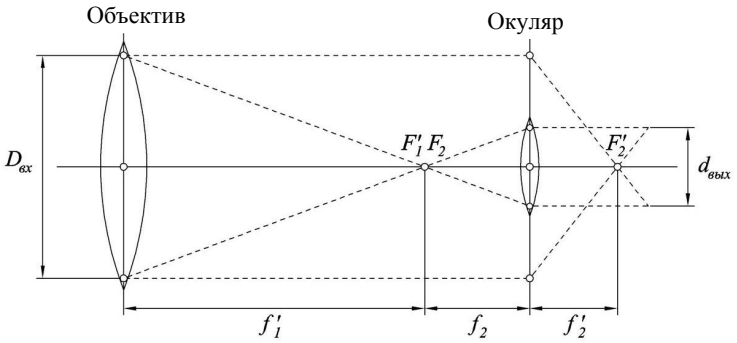


Рис. 3.2. Оптическая схема трубы Кеплера

Характеристики 1–5 имеют количественные показатели и могут быть измерены (т.е. носят объективный характер), а 6 носит субъективный характер.

Примечание: измерения проводят все члены бригады. Из полученных результатов выводят среднее арифметическое значение, на основе которого делают выводы.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Увеличение зрительной трубы

Увеличение зрительной трубы показывает, во сколько раз увеличиваются видимые размеры предмета, рассматриваемого в зрительную трубу, по сравнению с размерами того же предмета, видимого невооруженным глазом. Различают нормальное и видимое уве-

личение зрительной трубы. Видимое увеличение трубы определяется по формуле

$$\Gamma = \frac{f_1'}{f_2'} = \frac{D_{\text{вх}}}{d_{\text{вых}}}, \qquad (3.1)$$

где $D_{\text{вх}}$ и $d_{\text{вых}}$ – диаметры зрачков входного и выходного отверстия трубы соответственно, мм; f' и f_2' – заднее фокусное расстояние объектива и окуляра соответственно.

Нормальное увеличение $\Gamma_{\text{н}}$ – это увеличение телескопической системы, при котором разрешающая сила объектива этой системы полностью используется глазом. При нормальном увеличении должно соблюдаться условие

$$\frac{60''}{\Gamma_{\text{н}}} = \frac{120''}{D_{\text{вх}}}, \qquad (3.2)$$

где $\frac{60''}{\Gamma_{\text{н}}} = r$ – разрешающая способность невооруженного глаза; $\frac{120''}{D_{\text{вх}}} = r_d$ – разрешающая способность зрительной трубы [9, с. 58].

Порядок выполнения:

- Наводят зрительную трубу на освещенный светлый фон и фокусируют трубу на бесконечность.
- За окуляром устанавливают перпендикулярно к визирной оси экран из бумаги (кальки или миллиметровки).
- Экран медленно передвигают, добиваясь четкого изображения на экране яркого кружка, являющегося значком выхода.
- С помощью измерителя и масштабной линейки определяют диаметр этого кружка $d_{\text{вых}}$ с точностью до 0,1 мм.
- Измеряют диаметр входного зрачка трубы $D_{\text{вх}}$ (т.е. внутренний видимый диаметр объектива) штангенциркулем или измерителем и масштабной линейкой с точностью до 0,1 мм.

- Определяют видимое (или субъективное) увеличение зрительной трубы по формуле (3.1).
- Определяют нормальное увеличение зрительной трубы по формуле

$$\Gamma_{н} = 0,5 \cdot D_{вх}, \qquad (3.3)$$

где $D_{вх}$ – диаметр входного отверстия трубы, мм.

- Сравнивают видимое увеличение зрительной трубы Г с техническим $\Gamma_{техн}$. Для тахеометра Leica TS06plus $\Gamma_{техн} = 30^{x}$ (см. технические характеристики прибора).
- Сравнивают нормальное увеличение зрительной трубы $\Gamma_{н}$ с видимым Г.

$$\Gamma > \Gamma_{н}. \qquad (3.4)$$

Следует отметить, что визирные трубы маркшейдерско-геодезических приборов имеют увеличение в 1,5–2 раза больше нормального (в целях обеспечения наименьшего утомления глаза) [7, с. 47].

2. Поле зрения зрительной трубы

Поле зрения – это пространство, видимое в трубу. Оно характеризуется углом $2u$ между главными лучами, проходящими через края диафрагмы при телескопической установке зрительной трубы (рис. 3.3). Этот угол определяют несколькими способами:

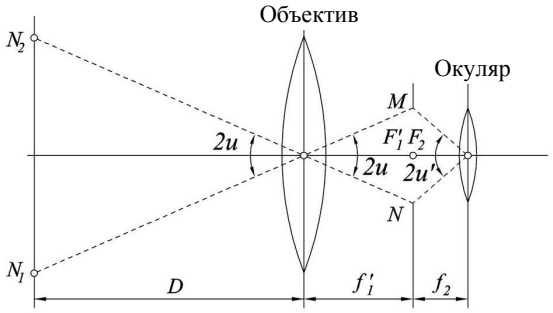


Рис. 3.3. Схема угла поля зрения

1) по горизонтальному кругу;

2) по вертикальному кругу;

3) с помощью рейки.

На рис. 3.3 D – расстояние от объектива трубы до рейки, мм; F_1' – задний фокус объектива; F_2 – передний фокус окуляра; f_1' – заднее фокусное расстояние объектива; f_2 – переднее фокусное расстояние окуляра.

Порядок выполнения

По горизонтальному кругу

- Выбирают на местности хорошо видимую точку (марку).
- Наводят трубу на выбранную точку самым правым краем зрительной трубы и берут отсчет по горизонтальному кругу N_1.
- Открепляют алидаду и визируют на ту же точку левым краем зрительной трубы и берут отсчет по горизонтальному кругу N_2.
- Вычисляют угол поля зрения по формуле

$$2u_{\Gamma} = N_2 - N_1, \tag{3.5}$$

где $2u_{\Gamma}$ – значение угла поле зрения трубы в угловой мере; N_1 и N_2 – отсчеты по лимбу в угловой мере.

По вертикальному кругу

- Выбирают на местности хорошо видимую точку (марку).
- Наводят трубу на выбранную точку самым нижним краем зрительной трубы и берут отсчет по вертикальному кругу N_1.
- Визируются на ту же точку самым верхним краем зрительной трубы и берут отсчет по вертикальному кругу N_2.
- Вычисляют угол поля зрения по формуле

$$2u_{\text{В}} = N_2 - N_1, \tag{3.6}$$

где $2u_{\text{В}}$ – значение угла поле зрения трубы в угловой мере; N_1 и N_2 – отсчеты по лимбу в угловой мере.

С помощью рейки

- Устанавливают рейку на расстоянии 30–50 м от прибора.

- При горизонтальном положении зрительной трубы наводятся на рейку.
- Берут отсчеты В и Н, соответствующие верхнему и нижнему краям диафрагмы с точностью до 1 мм.
- Измеряют расстояние D от объектива до рейки (с помощью рулетки или тахеометра).
- Вычисляют угол поля зрения трубы по формуле

$$2u_{\text{р}} = \frac{(\text{В} - \text{Н})}{S} \cdot \rho, \qquad (3.7)$$

где В и Н – отсчеты по рейке, мм; S – расстояние от объектива трубы до рейки, мм; $\rho = 57{,}3°$ – радиан в градусной мере.

По результатам измерений определяют среднее арифметическое значение угла поля зрения $2u_{\text{ср}}$ и сравнивают его со значением по технической характеристике $2u_{\text{тех}}$ (для электронного тахеометра Lecia TS06plus: $2u_{\text{техн}} = 1°30'$).

3. Угловое расстояние биссектора

Угловое расстояние биссектора сетки нитей – это горизонтальный угол между двумя вертикальными штрихами сетки нитей зрительной трубы, которые используют для наведения на визирную цель. Угловое расстояние зависит от назначения инструмента. Наиболее часто встречаются следующие угловые расстояния между соседними нитями, Δ:

1) между парой вертикальных нитей в геодезических инструментах, предназначенных для измерения углов, $\Delta = 35 - 40''$;

2) то же в астрономических инструментах для наблюдения звезд $\Delta = 15 - 20''$ [10, с. 22].

Порядок выполнения

- На расстоянии 10–15 м от тахеометра в неподвижном положении (в зажиме на штативе) устанавливают горизонтально и примерно перпендикулярно визирной оси прибора линейку с миллиметровым делением.

- Визируются на линейку и по положению нитей биссектора относительно линейки берут отсчёты a_1 и a_2 с точностью 0,2–0,3 мм.
- Вычисляют угловое расстояние биссектора по формуле

$$\Delta = \frac{(a_2 - a_1)}{S}\rho'', \tag{3.8}$$

где a_1 и a_2 – отсчеты по левой и правой нитям биссектора, мм; S – расстояние от линейки до оси вращения тахеометра, м; ρ – радиан в секундной мере, $\rho = 206265''$.

4. Разрешающая способность (сила) зрительной трубы

Под разрешающей силой трубы понимают ее способность давать раздельно изображения двух близко расположенных точек рассматриваемого предмета. Она характеризуется наименьшим углом, под которым эти точки воспринимаются раздельно. Теоретически величина этого угла определяется по формуле

$$\varphi = \frac{К_0}{D_{вх}} = \frac{120''}{D_{вх}}, \tag{3.9}$$

где $D_{вх}$ – диаметр зрачка входа, мм; $К_0$ – качество объектива.

Разрешающую способность определяют опытным путем, используя специальную шкалу – миру.

5. Яркость изображения зрительной трубы

Труба характеризуется субъективной яркостью, т.е. отношением освещенности изображения на сетчатке глаза при рассматривании предмета в трубу к освещенности изображения того же предмета на сетчатке при рассматривании его невооруженным глазом. Освещенность изображения на сетчатке глаза зависит от освещенности предмета и площади зрачка глаза, если предмет рассматривается невооруженным глазом, и площади зрачка выхода, если предмет рассматривается в трубу. Яркость трубы определяется по формуле

$$H = \frac{d_{вых}^2}{D_{гл}^2} \cdot \delta = \frac{D_{вх}^2}{D_{гл}^2 \cdot \Gamma^2} \cdot \delta, \tag{3.10}$$

где $D_{вх}$ и $d_{вых}$ – диаметры зрачков входного и выходного отверстия трубы соответственно, мм; $D_{гл}$ – диаметр зрачка глаза, мм; Г – увеличение зрительной трубы; δ – коэффициент прозрачности или светопропускания (в работе принять $\delta = 0{,}8$).

Яркость трубы используется полностью, если $d_{вых} \le D_{гл}$. Если $d_{вых} > D_{гл}$, то яркость трубы уменьшается, так как в этом случае объектив работает неполным отверстием.

Диаметр зрачка глаза $D_{гл}$ при хорошем дневном освещении доходит до 2 мм, а при слабом сумеречном до 7,5 мм [11, с. 47].

6. Качество изображения зрительной трубы

Под качеством изображения понимают ряд показателей: яркость, контрастность, аберрации [11, с. 21]. *Аберрация* – это отклонение от нормы, ошибка, некое нарушение нормальной работы системы.

Проверку качества изображения, даваемого трубой, выполняют путем рассматривания в трубу правильных черных фигур (квадрат, треугольник, круг), вычерченных на ватмане. Лист ватмана прикрепляют на таком расстоянии от прибора, чтобы в поле зрения трубы размещалась целиком одна фигура. Изменение геометрии фигуры, оцениваемое на глаз, характеризует качество изображения.

Хорошая труба дает четкое изображение, геометрически подобное оригиналу, с легкой фиолетовой или синей окраской на краях поля зрения. Если же труба имеет дефект, то могут появиться различные виды аберрации оптической системы: сферическая аберрация, хроматическая аберрация, астигматизм, дисторсия и др.

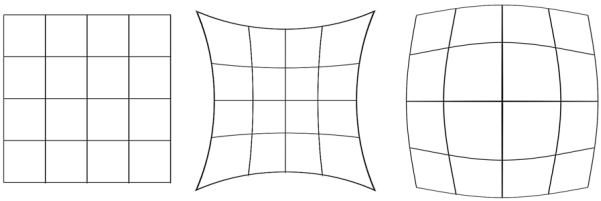
Сферическая аберрация – несовпадение лучей света, проходящих через ассиметричную систему. Данная аберрация больше связана с геометрической оптикой. Лучи широкого пучка преломляются через линзу с неодинаковой силой – крайние лучи преломляются сильнее и пересекают оптическую ось ближе к линзе, чем средние и центральные [11, с. 33].

Хроматическая (цветовая) аберрация носит волновой характер. Она обусловлена дисперсией света, возникающей при прохождении его через линзы объектива. Это явление связано с тем, что лучи

с разной длиной волны преломляются под разными углами (т.е. показатель преломления оптической среды будет различен). У коротких волн степень преломления выше, чем у длинных, т.е. лучи фиолетового цвета преломляются линзами объектива сильнее, чем красного. Хроматические аберрации ведут к снижению чёткости изображения, а иногда и к появлению на нём цветных контуров, полос, пятен, которые у предмета отсутствуют.

Астигматизм – это волновой процесс, при котором происходит искажение изображения оптической системой, связанное с деформацией луча (например, из круглого сечения в эллиптическое). Получается, что при прохождении через линзу лучи света не фокусируются в одной точке, а рассеиваются в нескольких.

Дисторсия – аберрация, при которой нарушается геометрическое подобие, т.е. происходит искажение объекта. Другими словами, объектив отказывается изображать прямые линии прямыми. Дисторсия возникает в результате того, что линейное увеличение разных частей изображения различно. Дисторсия может быть положительной, или подушкообразной (рис. 3.4, *б*), и отрицательной, или бочкообразной (рис. 3.4, *в*).



а *б* *в*

Рис. 3.4. Виды дисторсии: *а* – правильное изображение квадрата;
б – подушкообразная, или положительная, дисторсия;
в – бочкообразная, или отрицательная дисторсия

Следует отметить, что дисторсия не нарушает резкости изображения. Исправляется подбором линз и других элементов оптической системы при её разработке. Если присутствует в цифровом изображении, может быть исправлена программно.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА АЛИДАДЫ

Цель: определить параметры эксцентриситета алидады горизонтального круга теодолита типаТ5.

Задачи:

1. Ознакомиться с устройством теодолита типа Т5.

2. Ознакомиться с понятием эксцентриситета алидады и причинами его возникновения.

3. Исследовать эксцентриситет алидады горизонтального круга теодолита типа Т5, а именно:

- определить отсчет по лимбу, при котором влияние эксцентриситета на отсчет равно нулю *P*;
- определить наибольшее влияние эксцентриситета на односторонний отчет по лимбу ε_{max} – угловой элемент;
- определить линейный элемент эксцентриситета *e*.

4. Построить таблицу результатов наблюдений и вычислений.

5. Построить график изменений эксцентриситета.

6. Сделать вывод, сравнив графические и аналитические результаты.

Приборы и принадлежности: теодолит типа Т5, штатив, подставка.

Общие сведения об эксцентриситете

В соответствии с геометрической схемой теодолита необходимо, чтобы проекция центра вращения алидады и проекция центра кольца делений лимба на его плоскости совпадали. В свою очередь совмещение выполняется с большой точностью (5–10 мкм). Несоблюдение этого условия называется *эксцентриситетом алидады* и является причиной систематических погрешностей при измерении углов.

Другими примерами несовпадения осей являются: эксцентриситет кольца делений лимба относительно оси его посадочного отверстия, эксцентриситет посадочного отверстия лимба относительно оси и втулки алидады относительно оси алидады [3].

Эксцентриситет алидады горизонтального круга приводит к тому, что разность отсчетов по шкале лимба, взятых при двух различных положениях верхней части инструмента, не равна фактическому углу ее поворота. Влияние эксцентриситета алидады зависит от положения лимба и от направления алидады.

Эксцентриситет алидады характеризуется линейным элементом e ($e = C_A C_L$) и угловым элементом – углом P, ориентирующим линейный элемент относительно нулевого штриха лимба (рис. 4.1) [12].

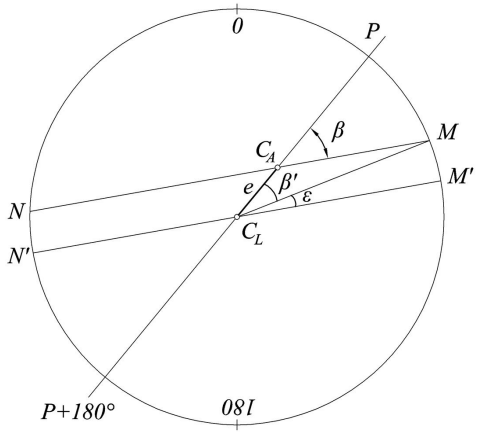


Рис. 4.1. Эксцентриситет алидады: MN – ось визирования; $M'N'$ – ось наведения

Если направление эксцентриситета алидады $C_A C_L$, совпадает с направлением на одну из наблюдаемых точек, например, P, то влияние эксцентриситета на этот отсчет равно нулю (см. рис. 4.1). Тогда при повороте алидады на угол β получим не истинную величину горизонтального угла между направлениями на точки P и M, а при одном положении вертикального круга – меньший угол, равный $\beta' = \beta - \varepsilon$, и при другом – больший, равный $\beta' = \beta + \varepsilon$. Следует отметить, что среднее из обоих отсчетов (при КЛ и КП) дает истинную величину угла, свободную от ошибки эксцентриситета [13]. Однако если эксцентриситет достигает значительной величины, то

применение такой методики не может полностью исключить его влияние на изменяемый угол.

Наибольшее влияние эксцентриситета на односторонний отсчет по лимбу будет при $\beta = 90°$ [3], поэтому

$$\varepsilon_{max} = \frac{e}{R} \cdot \rho'', \tag{4.1}$$

где ε_{max} – наибольшее влияние эксцентриситета на односторонний отчет по лимбу, секунды; e – линейный элемент эксцентриситета, мкм; R – радиус лимба горизонтального круга, мкм (берется из паспорта прибора, для теодолита 2Т5К R = 47 500 мкм); ρ'' – радиан в секундной мере, $\rho'' = 206265''$.

Существует зависимость влияния эксцентриситета алидады от положения верхней части инструмента:

$$\varepsilon_i' = \varepsilon_{max} \cdot \sin(M_i - P). \tag{4.2}$$

В формуле (4.2) содержится две неизвестных, поэтому для однозначного нахождения ε_{max} и P достаточно дважды определить величину углового элемента эксцентриситета ε_i на разных частях M_i горизонтального круга. Однако на практике с целью контроля и получения более точных значений производят избыточные измерения через 45° в прямом и обратном направлениях. Для устранения неоднозначности в решении системы уравнений и достижения при этом наилучших результатов используется *способ наименьших квадратов*.

Для этого вводят такое понятие, как уклонение ν_i (или отклонение), которое характеризует разность между точным значением функции ε_i' в точке M_i и соответствующим значением ε_i, полученным опытным путём:

$$\nu_i = \varepsilon_{max} \cdot \sin(M_i - P) - \varepsilon_i. \tag{4.3}$$

Согласно тригонометрическим формулам раскроем $\sin(M_i - P)$, тогда

$$\nu_i = \varepsilon_{\max} \cdot (\sin M_i \cdot \cos P - \cos M_i \cdot \sin P) - \varepsilon_i . \qquad (4.4)$$

Введем замену $X = \varepsilon_{\max} \cdot \cos P$ и $Y = \varepsilon_{\max} \cdot \sin P$ и преобразуем формулу (4.4) в уравнение вида

$$\nu_i = X \cdot \sin M_i - Y \cdot \cos M_i - \varepsilon_i . \qquad (4.5)$$

В методе наименьших квадратов на величины X и Y накладывается условие, согласно которому они должны доставлять минимум сумме квадратов уклонений $U(X,Y)$:

$$U(X,Y) = \sum_{i=1}^{n} \nu_i^2 = \sum_{i=1}^{n} (X \cdot \sin M_i - Y \cdot \cos M_i - \varepsilon_i)^2 \to \min , \qquad (4.6)$$

где n – количество определений ε_i, полученных опытным путем.

Требуется найти X и Y, удовлетворяющие этому условию. Для этого необходимо, чтобы частные производные по X и Y были равны нулю, т.е.

$$\begin{aligned} \frac{\delta U}{\delta X} &= 2 \cdot \sum_{i=1}^{n} (X \cdot \sin M_i - Y \cdot \cos M_i - \varepsilon_i) \cdot \sin M_i = 0; \\ \frac{\delta U}{\delta Y} &= -2 \cdot \sum_{i=1}^{n} (X \cdot \sin M_i - Y \cdot \cos M_i - \varepsilon_i) \cdot \cos M_i = 0. \end{aligned} \qquad (4.7)$$

Отсюда

$$\begin{cases} X \cdot \sum_{i=1}^{n} \sin^2 M_i - Y \cdot \sum_{i=1}^{n} \cos M_i \cdot \sin M_i = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i \cdot \sin M_i ; \\ X \cdot \sum_{i=1}^{n} \cos M_i \cdot \sin M_i - Y \cdot \sum_{i=1}^{n} \cos^2 M_i = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i \cdot \cos M_i . \end{cases} \qquad (4.8)$$

Как показали исследования различных типов теодолитов, максимальная величина эксцентриситета алидады составляет в среднем около $7''$. Следует отметить, что у всех типов теодолитов *эксцентриситет алидады* можно устранить только в мастерской.

Порядок выполнения лабораторной работы

1) Приводят прибор в рабочее положение и выбирают точку визирования так, чтобы толщина вертикального штриха сетки нитей примерно совпадала с толщиной вертикального штриха марки визирования.

2) Наводятся на выбранную точку при первом положении круга (при КП) и устанавливают отсчет на лимбе, примерно равный 0°. Берут отсчет с точностью $0{,}1'$ и записывают в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты наблюдений в прямом направлении

№ п/п	Отсчет по ГК				$\varepsilon_i + c$	ε_i	$\sin^2 КП_i$	$\cos^2 КП_i$	$\cos КП_i \cdot \sin КП_i$	$\varepsilon_i \cdot \sin КП_i$	$\varepsilon_i \cdot \cos КП_i$
	КП		КЛ								
	°	′	°	′	′	′					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0		180								
2	45		225								
…	…		…								
8	315		135								
				Σ							

c =

3) Переводят трубу через зенит и визируются на ту же точку. Берут отсчет при втором положении круга (при КЛ) и записывают его в табл. 4.1.

4) Операции 3–4 проводят через каждые 45° в прямом (см. табл. 4.1) и обратном (составляется дополнительная таблица) направлениях.

Порядок обработки результатов

1. Определяют угловой эксцентриситет с учетом коллимационной ошибки c для двух отсчетов, взятых при двух положениях зрительной трубы:

$$\varepsilon_i + c = \frac{\alpha_{КП} - \alpha_{КЛ} \pm 180°}{2}, \qquad (4.9)$$

где $\alpha_{КП}$ и $\alpha_{КЛ}$ – отсчеты при положении КП и КЛ соответственно, градус; c – коллимационная ошибка, которая определяется как

$$c = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\varepsilon_i + c)}{n}, \qquad (4.10)$$

где n – количество направлений ($n = 8$).

***Контроль*:** разница между суммой $(\varepsilon_i + c)$, определенной в двух разных направлениях, не должна превышать $0{,}2'$. А также разница между коллимационной ошибкой c, определенной в двух направлениях, не должна отличаться больше чем на $0{,}03'$.

2. Вычисляют ε_i для каждого направления, вычитая из суммы $(\varepsilon_i + c)_i$ получившееся значение коллимационной ошибки c. ***Контроль*:** $\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i = 0$.

3. Рассчитывают значения столбцов 8–12 по формулам, указанным в шапке для решения системы уравнений (4.8).

4. Подставляют полученные табличные значения в систему (4.8) и решают ее, например, методом Крамера, методом Гаусса или матричным способом. Находят значения X и Y.

5. Вычисляют значение отсчета по лимбу P, при котором влияние эксцентриситета на отсчет равно нулю для двух направлений по формуле

$$P = \operatorname{arctg}\left(\frac{Y}{X}\right). \qquad (4.11)$$

После чего вычисляют средний отсчет из двух $P_{\text{ср}}$. Период угла P составляет $180°$, поэтому к получившемуся значению $P_{\text{ср}}$ необходимо прибавить $180°$.

6. Вычисляют наибольшее влияние эксцентриситета на односторонний отчет по лимбу $\varepsilon_{\max}$ (согласно введенной в теории замене) также для двух направлений. Тогда

$$\varepsilon_{\max} = \frac{X}{\cos P} = \frac{Y}{\sin P}. \qquad (4.12)$$

7. Вычисляют линейный элемент эксцентриситета e исходя из соотношения (4.1) для двух направлений.

8. По опытным и теоретическим данным строят графики изменения значений углового эксцентриситета в зависимости от отсчетов по лимбу (рис. 4.2 и 4.3).

***Контроль*:** на графике должен получиться один порядок синусоиды.

9. Определяют графически значение угла $P_{граф}$, как пересечение синусоиды с горизонтальной осью.

10. Делают выводы, сравнивая $P_{граф}$ и $P_{ср}$. *Контроль*: разница между $P_{граф}$ и $P_{ср}$ допускается не более $30°$.

11. По итогам проделанной работы необходимо сделать выводы, сравнив графические и аналитические результаты.

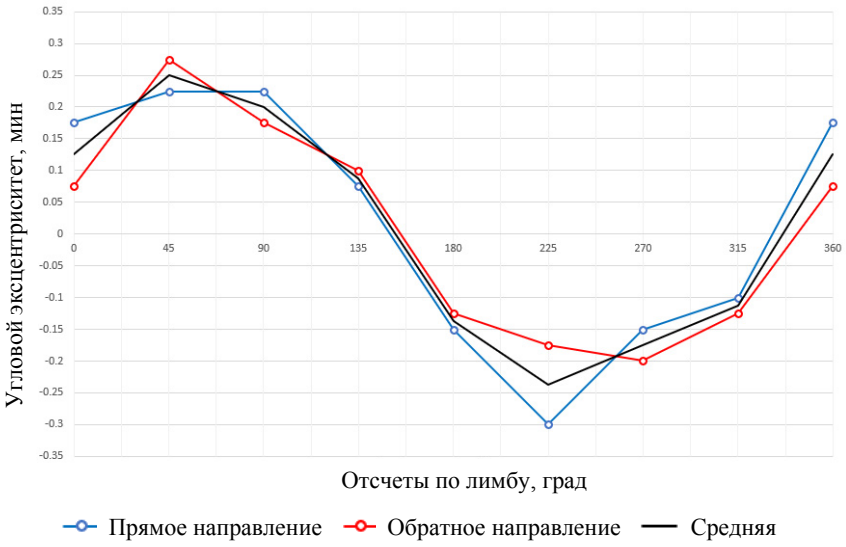


Рис. 4.2. График изменения значений углового эксцентриситета в зависимости от отсчетов по лимбу

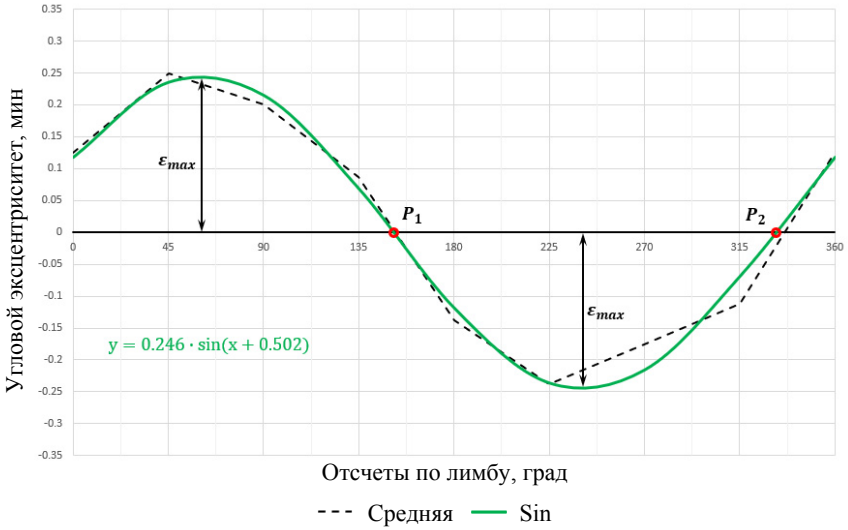


Рис. 4.3. График среднего значения углового эксцентриситета и функция SIN, описывающая его

5. ПОВЕРКИ НИВЕЛИРА

Цель: выполнение поверок нивелира в соответствии с инструкциями.

Задачи:

1. Ознакомиться с устройством нивелира CST/Berger.
2. Изучить инструкции, выполнить поверки нивелира.
3. Составить акт поверок данного нивелира.
4. Сделать вывод о пригодности прибора для работы, т.е. сопоставить полученные результаты с требованиями инструкции и техническими характеристиками прибора.

Приборы и принадлежности: нивелир CST/Berger SAL-24, штатив, подставка, шашечная рейка, рулетка.

Нивелир – это геодезический прибор, предназначенный для определения превышений между точками местности горизонтальным лучом визирования [14].

На практике студентам предлагается провести поверки нивелира CST/Berger модели SAL 24. Согласно свидетельству об утверждении типа средств измерений данный прибор относится к группе технических нивелиров. Нивелиры CST Berger SAL оборудованы компенсатором и магнитным демпфером, что позволяет значительно сократить время на выполнение инженерно-геодезических и строительных работ.

Проведение операций поверок нивелира

Поверка 1. Осмотр внешнего состояния и комплектности нивелира, при котором проверяют:

- чистоту оптических деталей зрительной трубы;
- контрастность и четкость изображения нитей сетки;
- отсутствие коррозии и дефектов на приборе, которые могут затруднить работу с прибором;
- комплектность нивелира согласно его паспорту.

Любые недочеты заносятся в отчет. Если внешнее состояние или комплектность нивелира не удовлетворяет предъявляемым условиям, то прибор сдают в мастерскую или устраняют ошибки самостоятельно.

Поверка 2. Проверку работоспособности нивелира и взаимодействие его подвижных узлов производят опробованием. При опробовании обращают внимание:

- на исправность всех частей нивелира;
- отсутствие качаний в подъемных, наводящих и закрепительных винтах;
- плавность вращения окуляра, элевационного винта и головки, перемещающей фокусирующую линзу;
- исправность зеркала подсветки уровня и крепления всех подвижных частей нивелира и стопорных винтов;
- работоспособность юстировочных винтов, которые должны занимать среднее положение.

При проверке нивелира с компенсатором необходимо убедиться, что подвесная система компенсатора и демпфер функционируют,

а также проверить исправность штатива, надежность закрепления винтов и гаек на штативе и убедиться, подходит ли становой винт к нивелиру. Для этого нивелир устанавливают на штатив и приводят его в рабочее положение (см. поверку 3), наводят трубу на рейку и запоминают по ней отсчет. Затем слегка постукивают по штативу и опять отсчитывают по рейке, при этом отсчет по рейке не должен изменяться. В случае невыполнения условия работоспособности следует установить и устранить причины этого явления самостоятельно или сдать прибор в мастерскую. После юстировки поверку производят заново.

Поверка 3. Проверка установочных уровней.

Для проверки правильности установки круглого уровня тремя подъёмными винтами подставки пузырёк уровня приводится в нольпункт, и поворачивается верхняя часть нивелира на 180° Если пузырек остаётся в ноль-пункте или его отклонение от среднего положения не превышает половины деления шкалы уровня, то условие считается выполненным. В противном случае требуется исправление.

Исправление производится следующим образом: юстировочными винтами круглого уровня пузырёк уровня перемещается к ноль-пункту на половину отклонения. После юстировки поверка повторяется [14].

Поверка 4. Проверку правильности установки сетки нитей производят для того, чтобы убедиться, что вертикальная нить сетки при среднем положении пузырька уровня совпадает с отвесной линией, а ось биссектора (горизонтальная нить сетки) перпендикулярна к вертикальной оси нивелира.

Проверку выполняют следующим образом. На удалении 10–15 м от нивелира подвешивают отвес. Приводят нивелир в рабочее положение и наводят вертикальную нить сетки на нить отвеса. Если один конец вертикальной нити сетки отклоняется от нити отвеса более чем на 0,5 мм (определяется при помощи линейки), установку сетки нитей исправляют с помощью юстировочных винтов сетки нитей.

После юстировки положения сетки проверку повторяют, чтобы убедиться, что вертикальная нить установлена правильно.

Поверка 5. Определение угла *i*

При работе на станции визирный луч нивелира должен быть горизонтален, т.е. угол *i* (угол между горизонтальной плоскостью и визирной осью трубы) должен быть равен нулю или не должен превышать ±10″. Это главное условие нивелиров.

Определение угла *i* нивелира следует проводить одним из следующих способов:

1) нивелированием «вперед»;

2) нивелированием из «середины» в сочетании с нивелированием «вперед»;

3) нивелированием с различными плечами.

Количество приемов измерений в любом способе должно быть не менее трех. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение угла *i* из всех результатов, признанных годными. Расхождение между отдельными значениями угла *i* не должно превышать 3″ для высокоточных нивелиров и 5″ для всех остальных типов нивелиров.

Определение угла i способом нивелирования «вперед»

Способ нивелирования вперед основан на принципе двойного нивелирования двух точек *1* и *2*, закрепленных на местности костылями или кольями на расстоянии (50±10) м (рис. 5.1). На практике в здании ПНИПУ в качестве опорных точек студентам необходимо использовать точки со сферической поверхностью, закрепленные в полу 4-го этажа.

Нивелир устанавливают над одной из точек, например 1, приводят его в рабочее положение, измеряют его высоту h_1 до визирной оси с погрешностью не более 1 мм и берут отсчет l_2 по рейке, установленной в точке *2*. Меняют местами нивелир и рейку и, выполнив описанные выше действия, получают высоту h_2 и отсчет l_1. Значение угла вычисляют по формуле

$$i = \frac{\left[\left(h_1 + h_2\right) - \left(l_1 + l_2\right)\right] \cdot \rho''}{2D}, \qquad (5.1)$$

где D – расстояние между точками *1* и *2*, мм; ρ'' – радиан в секундной мере, $\rho'' = 206265''$; h_1 и h_2 – соответственно высота инструмента в точках *1* и *2*, мм; l_1 и l_2 – соответственно отсчеты по рейкам в точках *1* и *2*, мм.

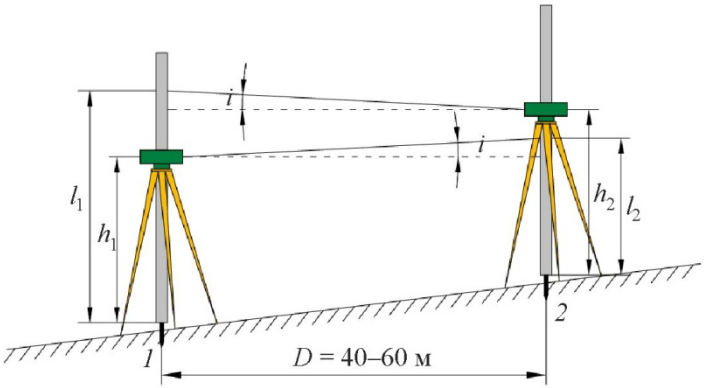


Рис. 5.1. Взаимное расположение нивелира и реек при определении угла *i* способом нивелирования «вперед»

Определение угла i способом нивелирования из «середины» в сочетании с нивелированием «вперед»

Для определения угла *i* этим методом на местности разбивают линию длиной 40–60 м и закрепляют ее кольями, на которых устанавливают рейки в точках *1* и *2* (рис. 5.2). Нивелир устанавливают между точками *1* и *2* на равном расстоянии от них и приводят в рабочее положение, берут отсчеты по рейкам l_1 и l_2. Переносят нивелир в точку, удаленную от точки *2* на 5–10 м, и берут отсчеты l'_1 и l'_2. Значение угла *i* вычисляют по формуле

$$i = \frac{\left[\left(l'_1 - l'_2\right) - \left(l_1 - l_2\right)\right] \cdot \rho''}{D} = \frac{h' - h}{D} \cdot \rho'', \qquad (5.2)$$

где D – расстояние между точками *1* и *2*, мм; ρ'' – радиан в секундной мере, $\rho'' = 206265''$; l_1 и l_2 – отсчеты по рейкам при нивелиро-

вании из «середины», мм; l'_1 и l'_2 – отсчеты по рейкам при нивелировании «вперед», мм; h' и h – превышения вычисленные при нивелировании из «середины» и при нивелировании «вперед», мм.

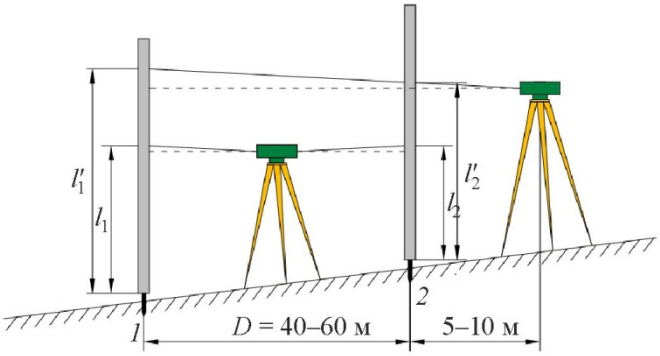


Рис. 5.2. Расположение нивелира и реек при определении угла *i* способом нивелирования из «середины» в сочетании с нивелированием «вперед»

Определение угла i способом нивелирования с различными плечами

При третьем способе определения угла *i* линию длиной (50±10) м закрепляют костылями и определяют превышение между ними с двух станций. Нивелир устанавливают на расстоянии 3–5 м от рейки на продолжении створа *2–1* (рис. 5.3). Производят отсчет l_1 по ближайшей рейке и, изменив фокусировку трубы, производят отсчет l_2 по дальней рейке. Сохраняя фокусировку трубы, устанавливают нивелир на расстоянии 3–5 м от второй рейки на продолжении створа *1–2*. Производят отсчеты l'_1 по дальней рейке и l'_2 по ближней рейке. Угол *i* вычисляют по формулам

$$i = \frac{X}{D} \cdot \rho'', \tag{5.3}$$

$$X = \frac{l'_2 + l'_1}{2} - \frac{l_1 + l_2}{2}, \tag{5.4}$$

где D – расстояние между точками *1* и *2*, мм; ρ'' – радиан в секундной мере, $\rho'' = 206265''$; l_1 и l_2 – отсчеты по ближней и дальней рейке при положении нивелира за точкой *1*, мм; l'_1 и l'_2 – отсчеты по дальней и ближней рейке при положении нивелира за точкой *2*, мм.

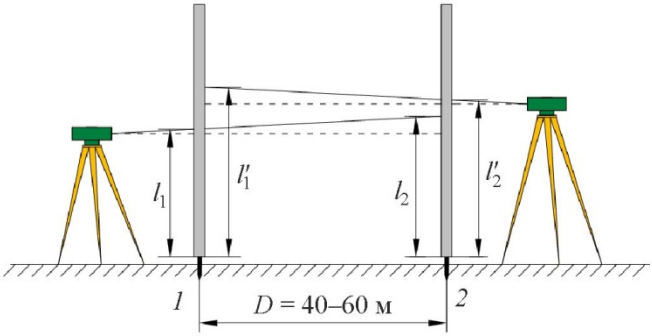


Рис. 5.3. Взаимное расположение нивелира и реек при определении угла *i* способом нивелирования с разными плечами

Поверка 6. Проверка работоспособности компенсатора $\sigma_к$ нивелира, которая включает определение систематической погрешности компенсации и диапазона работы.

В полевых условиях погрешность работы компенсатора определяют способом из середины, при этом нивелир устанавливают в створе линии, а две рейки по уровню закрепляют с помощью рейкодержателей. Наблюдения выполняют сериями, общее число которых должно быть не менее 2. Перед взятием отсчетов по рейкам оси нивелира задают наклоны I–V (рис. 5.4) подъемными винтами.

В каждой серии для каждого наклона оси определяют превышение по основной и дополнительной шкалам реек. Перед каждой серией изменяют высоту прибора. Следует отметить, что на лабораторных работах студенты используют шашечные нивелирные рейки, поэтому в каждой серии отчеты берутся при двух разных горизонтах. Для точных нивелиров проверку выполняют при расстоянии

между рейками, равном 75–100 м (так как длину визирного луча не рекомендуется брать больше 50 м).

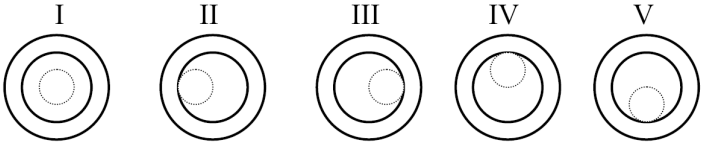


Рис. 5.4. Положение пузырька установочного уровня при наклоне оси нивелира подъемными винтами

Систематическую погрешность компенсации $\sigma_к$ на $1'$ наклона оси нивелира вычисляют по формуле

$$\sigma_K = \frac{(h_V - h_0)}{2 \cdot D_V} \cdot \rho'', \qquad (5.5)$$

где h_V и h_0 – превышения, полученные при наклоне оси нивелира и при $V = 0$; D – расстояние до рейки, мм; ρ'' – радиан в секундной мере, $\rho'' = 206265''$; V – наклон оси нивелира в секундах (для нивелира CST/Berger SAL-24 диапазон работы компенсатора составляет $\pm 15''$).

Из всех серий вычисляют средние значения превышения, полученные при положениях пузырька круглого уровня I–V. Из наблюдений при четырех различных наклонах трубы вычисляют среднее по абсолютной величине значение систематической ошибки компенсации, которое не должно превышать $0{,}3''$ на одну минуту наклона оси вращения технических нивелиров. Практически средние значения превышения, полученные при положениях пузырька круглого уровня II–V, не должны отличаться от среднего значения превышения, найденного при положении I, больше чем на 3 мм при нивелировании III класса и на 5 мм при нивелировании IV класса и техническом.

Следует иметь в виду, что всякая попытка юстировки компенсатора в поле приведет только к дальнейшему ухудшению работы нивелира.

Поверка 7. Контрольный нивелирный ход прокладывают с целью проверки работоспособности и точности измерений нивелира в целом.

Рекомендуемая длина хода 1–1,5 км. Превышение между реперами, закрепляющими контрольный ход на местности, должно быть известно с погрешностью не более $1/3 \cdot m_h$, где m_h – допустимая средняя квадратическая погрешность (СКП) нивелирования поверяемым прибором на 1 км двойного хода. Для нивелира CST/Berger модели SAL 24 СКП составляет ±2 мм.

Нивелирный ход прокладывают по методике, регламентируемой «Инструкцией по нивелированию I, II, III и IV классов». Сумма превышений в контрольном ходе $\sum h_{\text{изм}}$, полученная поверяемым нивелиром, должна удовлетворять условию

$$h_0 - \sum h_{\text{изм}} \le 3m_h \sqrt{L}, \qquad (5.6)$$

где L – длина хода, км; m_h – допустимая погрешность нивелирования на 1 км двойного хода; h_0 – эталонное значение превышения.

На практике студентам необходимо проложить замкнутый нивелирный ход для 5–6 точек.

6. ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ НАНЕСЕНИЯ ДЕЛЕНИЙ ШКАЛ РЕЙКИ

Цель: произвести две основные поверки нивелирной рейки в соответствии с инструкцией.

Задачи:

1. Ознакомиться с нивелирной рейкой и контрольной линейкой.
2. Изучить методику исследования реек.
3. Выполнить основные поверки нивелирной рейки.
4. Написать акт о выполненных поверках нивелирной рейки.
5. Сделать вывод о пригодности данной рейки для нивелирования соответствующего ей класса.

Приборы и принадлежности: деревянная рейка РН-3-3000, контрольная линейка (КЛ-1000).

Обозначение типа нивелирной рейки включает буквы РН, погрешность нивелирования и длину рейки, например, рейка нивелирная для работ с погрешностью 3 мм на 1 км хода, длиной 3000 мм, складная – РН- 3-3000 С [15, с. 52].

Контрольная линейка (иначе женевская или штриховая мера) – это измерительная линейка с двумя отсчетными лупами, выполненная из латуни, длиной в один метр, имеющая две шкалы, одна с ценой деления 1 мм, вторая –0,2 мм. Контрольная линейка (КЛ) предназначена для исследования нивелирных реек.

Общие сведения о рейках для оптических нивелиров

Для нивелирных работ применяют нивелирные рейки, выпускаемые по ГОСТ 10528, а так же равноценные им по назначению и точности отечественные и импортные рейки, разрешенные к эксплуатации [15, с. 52].

Нивелирные рейки относятся к вспомогательному геодезическому оборудованию (иначе аксессуар). С их помощью выполняют различные виды работ, связанные с определением превышений между точками местности или их высотных отметок. В зависимости от класса и точности нивелирования применяются различные виды реек.

Классификация реек

По применяемой технологии взятия отсчетов в нивелире:

- рейки для оптических нивелиров;
- рейки для электронных (цифровых) нивелиров;
- рейки для лазерных нивелиров.

По классу точности:

- высокоточные,
- точные,
- технические.

По материалу:

- деревянные;
- алюминиевые;
- фиберглсс (стеклопластик).

По конструкции:

- цельные;
- складные;
- телескопические (раздвижные);
- подвесные.

По способу нанесения делений:

- шашечные;
- штриховые.

По используемым сторонам:

- односторонние;
- двусторонние.

По наличию компенсатора: присутствует или отсутствует.

По длине рейки: от 1м до 5 м;

Особенности эксплуатации реек для нивелирования I–IV класса и технического нивелирования

Для нивелирования I и II класса применяются высокоточные нивелирные рейки, т.е. цельные штриховые рейки с инварной полосой, на которой должны быть нанесены две шкалы – основная и дополнительная, смещенные относительно друг друга на 5 мм. Длина деления шкалы 5 мм. Длина шкалы рейки не более 3 м.

Для нивелирования III, IV класса применяют односторонние или двусторонние рейки с сантиметровыми шашечными делениями. Длина шкалы рейки 3 м. Складные и телескопические рейки применяются при нивелировании IV класса или ниже.

Для нивелирования технической точности используются технические рейки, т.е. двусторонние рейки с сантиметровыми шашечными делениями длиной 3–5 м.

Проведение операций поверок реек

Поверка 1. Внешний осмотр и опробование

При внешнем осмотре реек обращают внимание на качество окраски штрихов и оцифровки реек, а также на равномерность и чистоту красочных покрытий. На рабочей поверхности реек не должно быть больших пятен, царапин и отслаивания краски, затруд-

няющих взятие отсчетов по рейке. Крепление ручек, круглого уровня и пяток реек должно быть надежным. Между корпусом и пяткой рейки не должно быть щелей. При опробовании проверяют работоспособность и надежность фиксации фурнитуры складных реек [16, п.5.2.1]. Данная поверка выполняется каждый раз перед проведением работ.

Поверка 2. Проверка правильности установки круглого уровня.

Установка рейки в отвесное положение требует, чтобы ось круглого уровня была параллельна оси рейки. В процессе нивелирования может быть нарушена установка уровня, поэтому крайне важно перед каждым выходом на работу проверять установку уровня на рейке [17, с. 253]. Поверку выполняют при помощи вертикальной нити сетки трубы нивелира или при помощи отвеса.

Поверка 3. Проверка силы натяжения инварной полосы.

Силу натяжения инварной полосы проверяют после выпуска из производства или после ремонта с помощью динамометра и щупа. Натяжение инварных полос должно быть (20 ± 1) кг.

Поверка 4. Определение стрелки прогиба рейки (или определение прямолинейности шкаловой поверхности).

Стрелку прогиба определяют два раза в месяц для нивелирования I и II классов с помощью измерительной линейки и струны (нити). Прогиб нивелирной рейки должен быть не более 5 мм для нивелирования I, II класса, 6 мм – для III класса и 10 мм – для IV класса.

Поверка 5. Проверка ширины и длины штрихов шкалы и длины шашек шкалы.

Проверка выполняется после выпуска из производства или после ремонта с помощью измерительной лупы для высокоточных реек и измерительной линейкой для точных и технических реек. Суть проверки заключается в выборочном контроле длины и ширины штрихов и шашек рейки.

Поверка 6. Проверка перпендикулярности штрихов к продольной оси шкалы рейки.

Проверка заключается в определении отклонения от перпендикулярности штрихов к линии, соединяющей края штрихов. Проверка

выполняется для высокоточных реек с помощью универсального инструментального микроскопа и транспортира. Допустимое отклонение от перпендикулярности ±15′.

Поверка 7. Проверка перпендикулярности плоскости пятки к оси рейки.

Рейка касается костыля любой точкой пятки, поэтому важно, чтобы, во-первых, пятка была плоскостью, и, во-вторых, эта плоскость должна быть перпендикулярна к оси рейки. Эти условия будут выполнены, если при установке рейки разными частями пятки отсчеты по рейке будут одинаковыми [17, с. 248]. Допускается неперпендикулярность пятки к оси рейки не более 0,1 мм/на длину рейки для нивелирования I класса и 0,2 – для II класса [15, с. 53].

Поверка 8. Определение разности высот нулей шкал

Определяют разности высот нулей основных шкал и начальных штрихов дополнительных шкал, которые должны быть близки к нулю, а также разности высот нулей и начальных штрихов основной и дополнительной шкал как для каждой рейки, так и для комплекта [17, с. 250].

Поверка 9. Поверка положения отдельных штрихов кода и их ширины.

Поверка выполняется для высокоточных штрих-кодовых цифровых реек. Проверка заключается в определении точности нанесения штрихов в процессе изготовления и коэффициента линейного расширения инварной рейки. В этом случае контролируют положения отдельных штрихов кода, сравнивая их фактические значения с теоретическим [17, с. 138].

Поверка 10. Оценка точности измерительной системы «нивелир-рейка».

Поверка выполняется для высокоточных штрих-кодовых цифровых реек. Производится путем сравнения разностей отсчетов, взятых по рейке цифровым нивелиром, с эталонными разностями, полученными с помощью лазерного интерферометра [17, с. 138].

Поверка 11. Поверка правильности нанесения дециметровых делений шкал рейки.

Поверку выполняют с помощью контрольной линейки при получении новых реек для нивелирования I, II, III и IV класса и перед выездом в поле для нивелирования I, II и III классов [15, с. 196].

Порядок выполнения

1) При помощи металлической линейки и остро отточенного карандаша на исследуемой рейке тонкими штрихами отмечают края дециметровых шашек, по которым предстоит сделать отсчёты: 1–29 дм на черной и 48–77 дм на красной стороне рейки.

2) На рейку кладут контрольную линейку таким образом, чтобы она не провисала, и «0» рейки и контрольной линейки находились рядом (рис. 6.1).

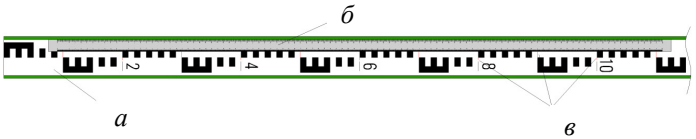


Рис. 6.1. Пример расположения контрольной линейки и рейки: *а* – рейка; *б* – контрольная линейка; *в* – штрихи, по которым берут отсчёты

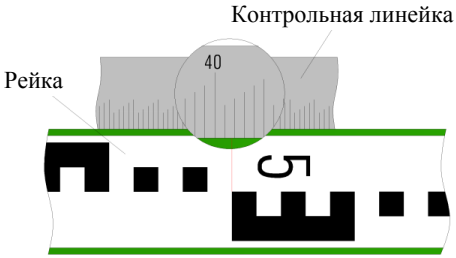
3) Замеряют начальную температуру $t_{нач}$ по термометру линейки с точностью до 0,1°С и записывают в табл. 6.1.

4) При помощи отсчетной лупы контрольной линейки берут отсчёты по каждому дециметровому штриху рейки в пределах одного метра с точностью до 0,01 мм и записывают его в табл. 6.1. Каждый метровый интервал измеряется дважды, при этом перед вторым (II) измерением линейку немного сдвигают. Пример взятия отсчёта по контрольной линейке приводится на рис. 6.2.

5) Далее по аналогии берут отчеты по следующим штрихам рейки черной стороны в интервале 10–20 и 20–29 дм.

6) По окончании измерений отсчитывают температуру по термометру линейки с точностью до 0,1°С и записывают в табл. 6.1.

7) Ошибки нанесения дециметровых делений красной стороны определяют по аналогии с черной стороной рейки для штрихов в интервале 48–77 дм.



Отчет по контрольной линейке: 400,34 мм

Рис. 6.2. Пример взятия отсчёта по контрольной линейке

Таблица 6.1

Поверка правильности нанесения дециметровых делений деревянной рейки

Дата: 25.11.14

Контрольная линейка № 1 Рейка № 1 (черная сторона)

Уравнение контрольной линейки:

$L = 1000 + 0,01 + 0,0185(t - 20\,°\text{C})$ мм

Номер дециметра	Отсчёты по контрольной линейке, мм		Разность I–II, мм	Ср. из отчетов a, мм	Ошибка дециметрового деления Δ', мм	Случайная ошибка дециметрового деления Δ, мм
	Положения					
	I	II				
1	2	3	4	5	6	7
$t_{нач} = 22\,°\text{C}$					$t_{кон} = 25,3\,°\text{C}$	
1	9,00	40,36	31,36	24,68	-0,03	-0,05
2	108,99	140,30	31,31	124,65	0,07	0,05
3	209,05	240,39	31,34	224,72	0,01	-0,01
4	309,07	340,38	31,31	324,73	0,03	0,01
5	409,12	440,40	31,28	424,76	0,00	-0,02
6	509,11	540,40	31,29	524,76	0,04	0,02
7	609,17	640,43	31,26	624,80	0,01	-0,01
8	709,17	740,45	31,28	724,81	0,04	0,02
9	809,21	840,49	31,28	824,85	-0,06	-0,08
10	909,16	940,41	31,25	924,79		

Окончание табл. 6.1

1	2	3	4	5	6	7
10	2,00	6,50	4,50	4,25	0,15	0,13
11	102,18	106,62	4,44	104,40	-0,04	-0,06
12	202,10	206,62	4,52	204,36	0,06	0,04
13	302,20	306,64	4,44	304,42	-0,08	-0,10
14	402,12	406,55	4,43	404,34	-0,01	-0,03
15	502,08	506,57	4,49	504,33	0,00	-0,02
16	602,10	606,55	4,45	604,33	0,01	-0,01
17	702,10	706,57	4,47	704,34	0,00	-0,02
18	802,08	806,60	4,52	804,34	0,00	-0,02
19	902,08	906,60	4,52	904,34	-0,06	-0,08
20	1002,05	1006,50	4,45	1004,28		
20	11,30	49,21	37,91	30,26	0,07	0,05
21	111,38	149,28	37,90	130,33	-0,06	-0,08
22	211,32	249,22	37,90	230,27	0,12	0,10
23	311,40	349,38	37,98	330,39	-0,04	-0,06
24	411,39	449,30	37,91	430,35	0,05	0,03
25	511,42	549,38	37,96	530,40	-0,01	-0,03
26	611,40	649,37	37,97	630,39	0,03	0,01
27	711,43	749,40	37,97	730,42	0,00	-0,02
28	811,45	849,39	37,94	830,42	0,14	0,12
29	911,60	949,51	37,91	930,56		
Систематическая ошибка дециметрового деления $\sigma = \frac{\sum \Delta'}{n} = \frac{0,44}{28} = 0,016 \approx 0,02$ мм					$\sum = 0,44$	$\sum = -0,12$
Наибольшие ошибки дециметровых делений +0,15 и –0,08 мм						

Обработка результатов измерений

1) В столбце 4 вычисляют разность отсчётов I–II, взятых по контрольной линейке при положении I, II для каждого дециметра рейки.

Контроль: разности отсчётов I–II в пределах каждого метрового интервала не должны различаться между собой на 0,1 мм. При получении больших расхождений контрольную линейку сдвигают

еще раз и повторяют измерения. Грубые отсчёты вычеркивают, а из оставшихся берут среднее.

2) В столбце 5 вычисляют среднее значение из отсчётов, взятых по контрольной линейке для каждого дециметра рейки.

3) В столбце 6 вычисляют ошибку каждого дециметрового деления шкалы рейки Δ_i' (мм) по формуле

$$\Delta' = (a_{i+1} - a_i - 100), \tag{6.1}$$

где a_i – среднее значение из отсчётов, взятых по контрольной линейке для *i*-го дециметра, мм.

4) Вычисляют систематическую ошибку дециметрового деления σ (мм) по формуле

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i'}{n-1}, \tag{6.2}$$

где n – количество исследуемых дециметровых делений рейки ($n = 29$).

5) Вычисляют случайную ошибку дециметрового деления Δ_i (мм) по формуле

$$\Delta_i = \Delta_i' - \sigma. \tag{6.3}$$

6) Для красной стороны рейки вычисляют систематическую и случайную ошибку дециметрового деления аналогично чёрной стороне.

7) Делают вывод о пригодности рейки к нивелирным работам соответствующего ей класса. Ошибки дециметровых делений рейки при нивелировании III класса не должны превышать 0,4 мм, IV класса — 0,6 мм.

Поверка12. Определение средней длины метровых интервалов.

Длины метровых интервалов инварных реек эталонируют в начале и в конце полевых работ на компараторе МК-1.

Для деревянных реек поверку выполняют при помощи контрольной линейки до начала и после окончания полевых работ и раз

в два месяца во время работы. Если по результатам полевого компарирования средняя длина метрового интервала комплекта реек изменилась более чем на 0,1 мм, то выполняют дополнительное исследование реек на компараторе; при работе в горных районах среднюю длину метра определяют контрольной линейкой через 15 дней [15, п.21.4.2].

По результатам определения средней длины метровых интервалов рейки подбирается комплект реек. Разность между средней длиной метра двух реек комплекта не должна превышать 0,15 мм для высокоточных, 0,7 мм – для точных и 1,5 мм – для технических реек.

Порядок выполнения

1) При помощи металлический линейки и остро отточенного карандаша на исследуемой рейке тонкими штрихами отмечают края шашечных делений, по которым предстоит брать отсчёты: 1, 10, 20, 29 дм на чёрной и 48, 58, 68, 77 дм на красной стороне рейки.

2) На рейку кладут контрольную линейку таким образом, чтобы она не провисала и «0» рейки и линейки находились рядом (рис. 6.3).

3) Замеряют начальную температуру $t_{\text{нач}}$ по термометру линейки с точностью до 0,1°С и записывают в табл. 6.2.

4) Определяют длины интервалов чёрной стороны рейки между делениями 1–10, 10–20, 20–29 дм в прямом направлении (см. рис. 6.3). Для этого при помощи отсчетной лупы контрольной линейки берут отсчёты по концам метрового интервала с точностью до 0,01 мм (т.е. сначала отсчитывают по левому (Л), а затем – по правому (П) концу контрольной линейки). Каждый интервал измеряется дважды, при этом перед вторым измерением линейку немного сдвигают. Результаты измерений записывают в табл. 6.2.

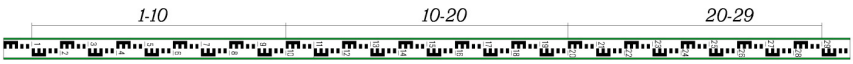


Рис. 6.3. Схема измерений длин метровых интервалов рейки в прямом ходе

5) Перед обратным ходом замеряют температуру t по термометру линейки с точностью до 0,1 °С и записывают в табл. 6.2.

6) Определяют длины интервалов в обратном направлении между делениями 29–20, 20–10, 10–1 (рис. 6.4). Для этого контрольную линейку поворачивают на 180° и повторяют действия, описанные в п. 4

Рис. 6.4. Схема измерений длин метровых интервалов рейки в обратном ходе

7) По окончании измерений отсчитывают конечную температуру $t_{кон}$ по термометру линейки с точностью до 0,1 °С и записывают в табл. 6.2.

8) Среднюю длину метровых интервалов красной стороны рейки определяют по аналогии с чёрной стороной для интервалов 48–58, 58–68, 68–77 дм.

Таблица 6.2

Определение средней длины метрового интервала деревянной рейки

Дата: 27.11.14

Контрольная линейка № 1 Рейка № 1 (черная сторона)

Уравнение контрольной линейки:

$L = 1000 + 0,01 + 0,0185 \cdot (t - 20\,°\text{C})$ мм

Интервал рейки	Отчёты по контрольной линейке, мм		П-Л, мм	Среднее П-Л, мм	Поправка за температуру линейки, мм	Длина интервала рейки, мм
	Л	П				
1	2	3	4	5	6	7
Прямой ход $t_{нач} = 22,5\,°\text{C}$						
1–10	3,12	903,16	900,04	900,01	+0,06	900,07
	12,67	912,64	899,97			
10–20	3,58	1003,53	999,95	999,97	+0,07	1000,04
	14,23	1014,22	999,99			
20–29	10,69	910,73	900,04	900,06	+0,06	900,12
	15,21	915,29	900,08			

Окончание табл. 6.2

1	2	3	4	5	6	7
Обратный ход $t_{нач} = 24\,°C$						
29-20	12,59	912,65	900,06	900,05	+0,09	900,14
	59,46	959,51	900,05			
20-10	5,81	1005,79	999,98	999,97	+0,1	1000,07
	11,73	1011,68	999,95			
10-1	23,82	923,80	899,98	900	+0,09	900,09
	100,20	1000,22	900,02			
$t_{кон} = 25,4\,°C$						
$\sum$	273,11	11573,22	11200,11	5600,06	+0,47	5600,53
Средняя длина метрового деления чёрной стороны рейки			$\frac{5600,53}{5,6} = 1000,1$ мм			

Порядок обработки результатов измерений

1) В столбце 4 вычисляют разность отсчётов П-Л, взятых по правому и левому концам контрольной линейки.

Контроль: разности отсчетов по правому и левому концам контрольной линейки на каждом интервале не должны различаться между собой более чем на 0,1 мм. При получении больших расхождений контрольную линейку сдвигают еще раз и повторяют измерения. Грубые отсчеты вычеркивают, а из оставшихся берут среднее [16, п. 5.2.3].

2) В столбце 5 вычисляют средние арифметические значения разностей для каждого интервала.

3) Вычисляют поправку за разность температур контрольной линейки и рейки по формуле

$$C = \Delta_{комп} + \alpha \cdot (t - t_{комп}), \qquad (6.4)$$

где $t_{комп}$ – отличие длины метрового интервала штриховой меры от 1000 мм при температуре эталонирования на компараторе, выписывается из паспорта штриховой меры ($\Delta_{комп} = 0,01$ мм); α – линейный коэффициент расширения штриховой меры (для КЛ-1000, изготовленной из латуни, $\alpha = 0,0185$ мм/($°C \cdot M$)); t – температура штри-

ховой меры в момент поверки рейки (для вычисления поправки следует брать среднее значение из температур, взятых до начала измерений и после), °С; $\Delta_{комп}$ – температура штриховой меры в момент её эталонирования на компараторе ($\Delta_{комп} = 20\,°C$) [18, с. 21].

Пример вычисления поправки

Для интервала рейки длиной 1 м поправка вычисляется по формуле $\delta L = 0{,}01 + 0{,}0185 \cdot ((22 + 21{,}5)/2)\text{-}20) = 0{,}08$ мм.

Соответственно, для интервала рейки длиной 0,9 м поправка $\delta L = 0{,}008 \cdot 0{,}9 = 0{,}07$ мм.

4) В столбец 7 записывают исправленные длины метровых интервалов.

5) Определяют среднюю длину метрового деления $l_{ср}$ (мм) чёрной стороны рейки по формуле

$$l_{ср} = \frac{\sum l}{n}, \qquad (6.5)$$

где $\sum l$ – сумма исправленных длин метровых интервалов в прямом и обратном ходе, мм; n – количество исследуемых метров рейки (n = 5,6).

По полученным результатам делают вывод о пригодности рейки к нивелирным работам соответствующего ей класса. Отклонение метровых интервалов от номинального значения не должно превышать 0,5 мм для нивелирования III класса и 1,0 мм для нивелирования IV класса.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНЫ ДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ

Цель: определить цену деления уровня нивелира 3Н5Л.

Задачи:

1. Ознакомиться с устройством нивелира 3Н5Л.
2. Изучить методы определения цены деления уровня.
3. Определить цену деления уровня двумя способами.

4. Проанализировать полученные результаты и сделать вывод, сравнив полученные значения с номинальным.

Приборы и принадлежности: нивелир 3Н5Л, подставка, штатив, рейка.

Общие сведения

Уровень – это устройство, предназначенное для приведения линий и плоскостей в горизонтальное или вертикальное положение и для измерения малых углов наклона. Основными частями уровня являются стеклянный сосуд – ампула с жидкостью и оправа. По форме ампулы уровни подразделяются на цилиндрические (трубчатые) и круглые (сферические) [11, с. 89]. Внутренняя часть ампулы круглого уровня имеет сферическую поверхность. Осью круглого уровня является радиус сферической поверхности, проходящий через нольпункт. Ампула цилиндрического уровня представляет собой стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой имеет бочкообразную форму, отшлифованную по дуге круга (рис. 7.1).

На рис. 7.1 точка O называется ноль-пунктом, т.е. точка, расположенная на середине ампулы, относительно которой симметрично нанесены деления. Касательная UU' к внутренней поверхности ампулы в точке O называется осью цилиндрического уровня. Если ноль-пункт совпадает с серединой пузырька, то ось занимает горизонтальное положение; при любом другом положении середины пузырька ось уровня будет наклонена. Угол наклона оси уровня при смещении пузырька на одно деление называется ценой деления уровня τ (чем меньше угол τ, тем точнее уровень) [11, с. 90]. Допустимое отклонение угла τ от его номинального значения приведены в табл. 7.1. Цену деления уровня можно определить по следующей формуле:

$$\tau = \frac{l \cdot \rho''}{R}, \qquad (7.1)$$

где l – длина одного деления шкалы ампулы (обычно штрихи наносят через 2 мм); ρ'' – радиан в секундной мере, $\rho'' = 206265''$; R – радиус дуги, мм (на рис. 7.1 $R = \mathrm{CO}$).

Таблица 7.1

Значения цены деления уровня с допускаемыми отклонениями

Номинальная цена деления	Предельные значения средней цены деления		Номинальная цена деления	Предельные значения средней цены деления	
	от	до		от	до
10′	8′	12′	20″	18″	22″
5′	4′	6′	15″	13,5″	16,5″
45″	40″	50′	10″	9″	11″
30″	27″	33″			

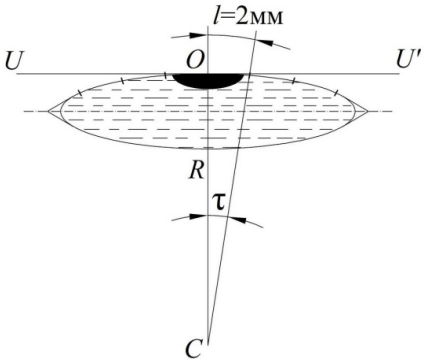


Рис. 7.1. Схема цены деления уровня

В исследуемом нивелире 3Н-5Л (технической точности) имеются два уровня: круглый (установочный) с ценой деления 10′ и цилиндрический с ценой деления 45″

Известно несколько способов определения цены деления уровня: на экзаменаторе, при помощи подъемных винтов, рейки, вертикального круга и универсального прибора [11, с. 93]. На практике студентам необходимо определить цену деления цилиндрического уровня двумя способами.

Первый способ. Определение цены деления уровня при помощи рейки.

Этот способ рекомендуется для определения цены деления уровня нивелира или угломерного прибора с уровнем на трубе [11, с. 97].

Порядок выполнения работы

1) На расстоянии 20–30 м от прибора устанавливают рейку. Если на рейке имеются миллиметровые деления, то расстояние можно сократить до 8–10 м.

2) Приводят нивелир в рабочее положение так, чтобы подъемные винты располагались согласно рис. 7.2.

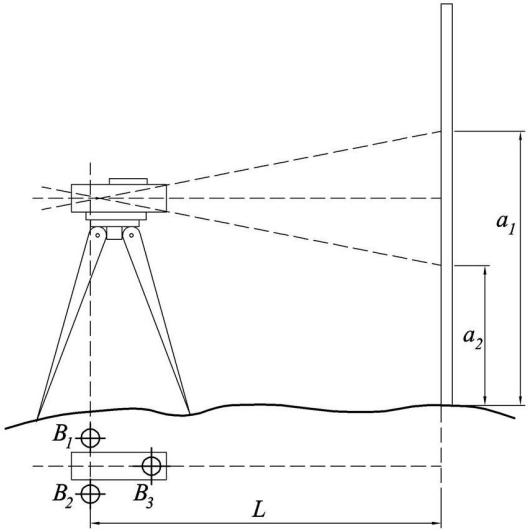


Рис. 7.2. Схема расположения подъемных винтов относительно рейки

3) Измеряют расстояния от линии, соединяющей подъемные винты B_1 и B_2, до рейки и записывают в табл. 7.2.

4) Наводят зрительную трубу на рейку и, вращая подъемный винт B_3, смещают пузырек в один конец шкалы ампулы.

Примечание. Пузырек цилиндрического уровня нужно смещать таким образом, чтобы он не касался края ампулы, т.е. не изменил своей формы (рис. 7.3).

5) Берут отсчеты по рейке a_1 и по концам пузырька ($Л_1$, $П_1$). Записывают результаты в табл. 7.2.

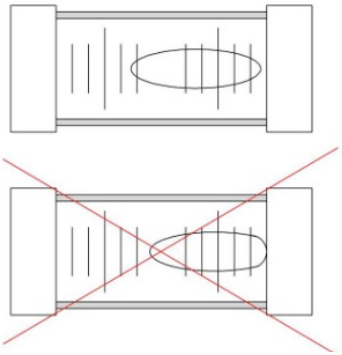


Рис. 7.3. Положение пузырька при взятии
отсчетов по штрихам ампулы

Примечание. Для взятия отсчетов по пузырьку цилиндрического уровня необходимо ввести «свою» систему взятия отсчетов, т.е. необходимо пронумеровать штрихи шкалы уровня по своему усмотрению.

6) Этим же подъемным винтом смещают пузырек в другой конец шкалы ампулы. Берут отсчеты по рейке a_2 и по концам пузырька ($Л_2$, $П_2$). Записывают результаты в табл. 7.2.

7) Изменяют высоту инструмента и повторяют пункты 3–6 пять раз. Таким образом, получается 6 приемов.

Порядок обработки результатов измерений

1) В столбце 6 вычисляют отклонение пузырька от ноль-пункта по формуле

$$P_i = \frac{Л_{a_i} + П_{a_i}}{2}, \qquad (7.2)$$

где $Л_{a_i}$ – отсчет по левому концу пузырька уровня, при отсчете по рейке a_i; $П_{a_i}$ – отсчет по правому концу пузырька уровня, при отсчете по рейке a_i.

2) В столбце 7 вычисляют разность отсчётов по рейке $a_1 - a_2$.

Таблица 7.2

Определение цены деления цилиндрического уровня при помощи рейки

№	Отсчеты			Расст. до рейки, мм	Отклонение от ноль-пункта P_1 и P_2	$a_1 - a_2$	Наклон уровня n	Цена деления уровня τ, с	$\sigma = \tau_i - \tau_{ср}$	σ^2
	по рейке a_1, a_2	по концам пузырька								
		Л	П							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	1570,3 1563,5	-5,1 -1,7	1,1 4,5	9398	-2 1,4	6,8	3,4	43,9	-1,2	1,44
II	1550,0 1544,5	-4,5 -2,0	1,5 4,2	9398	-1,5 1,1	5,6	2,6	47,3	2,2	4,84
III	1523,2 1518,0	-4,7 -2,2	1,5 4,1	9398	-1,6 0,95	5,2	2,55	44,8	-0,3	0,09
IV	1494,3 1487,5	-5,0 -1,8	1,2 4,5	9398	-1,9 1,35	6,8	3,25	45,9	0,8	0,64
V	1469,0 1461,0	-5,2 -1,5	1,0 4,8	9398	-2,1 1,65	8,0	3,75	46,8	1,7	2,89
VI	1389,5 1382,5	-5,2 -1,5	1,0 4,6	9398	-2,1 1,55	7,0	3,65	42,1	-3,0	9,00
							$\tau_{ср}$ =45,1		$\sum$=18,9	

3) В столбце 8 вычисляют наклон уровня n, т.е. число делений, на которое сместился пузырек уровня при наклоне визирной оси нивелира:

$$n = \left| P_2 - P_1 \right|, \tag{7.3}$$

где P_1 и P_2 – отклонение пузырька от ноль-пункта при первом и втором наклоне нивелира соответственно.

4) В столбце 9 вычисляют цену деления уровня по формуле

$$\tau = \frac{(a_1 - a_2) \cdot \rho''}{L_i \cdot n_i}, \tag{7.4}$$

где a_1 и a_2 – отсчет по рейке при первом и втором наклоне нивелира соответственно, мм; ρ'' – радиан в секундной мере, $\rho'' = 206265''$; L_i – расстояние до рейки, мм.

5) Вычисляют СКП определения цены деления уровня:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \sigma^2}{k-1}}, \qquad (7.5)$$

где k – количество приёмов ($k = 6$).

Примечание. В случае когда $\sigma > 2m$, отсчёт считается грубым и вычёркивается.

Второй способ. Определение цены деления уровня при помощи подъемных винтов нивелира.

Этот способ рекомендуется для определения цены деления уровня угломерных инструментов технической и малой точности. Подъемным аппаратом с тремя винтами можно пользоваться, как экзаменатором, приняв один винт за микрометренный [11, с. 94].

Порядок выполнения работы

1) Приводят нивелир в рабочее положение так, чтобы подъемный винт $В_3$ был по направлению визирования, при этом подъемные винты находятся в самом ввинченном состоянии.

2) На головке подъемного винта $В_3$ наносят карандашом риску, по которой будут отсчитывать один полный оборот.

3) Подъемным винтом $В_3$ придают наклон нивелиру и берут отсчёт по пузырьку цилиндрического уровня Л и П и записывают в табл. 7.3 (столбец 2 и 3).

Примечание. Пузырек цилиндрического уровня нужно смещать таким образом, чтобы он не касался края ампулы, т.е. не изменил своей формы (см. рис. 7.3).

4) Подъемные винты $В_1$ и $В_2$ одновременно вращают в ту же сторону, что и винт $В_3$, тем самым изменяют наклон нивелира в другую сторону. Берут отсчёты по пузырьку уровня Л′ и П′ и записывают в табл. 7.3 (столбец 6 и 7).

5) Повторяют пункты 3–4 до тех пор, пока подъемный винт B_3 не сделает полный оборот. Все измерения записывают в табл. 7.3.

Определение шага резьбы

1) На расстоянии 2–3 м от прибора устанавливают рейку. Если на рейке имеются миллиметровые деления, то для определения шага резьбы следует использовать миллиметровую шкалу.

2) Приводят нивелир в рабочее положение так, чтобы подъемные винты располагались согласно рис. 7.2, при этом находились в самом ввинченном состоянии.

3) Ввинчивают подъемный винт B_3 в самое низкое положение. Винтами B_1 и B_2 приводят прибор в рабочее положение (к горизонту). Если из-за ограничения хода винтов B_1 и B_2 не удается привести прибор в горизонтальное положение, используют винт B_3. Далее берут отсчет по рейке A.

4) Вывинчивают винт B_3 в самое высокое положение, при этом считают количество полных оборотов винта H. Повторно берут отсчёт по рейке A'.

5) Вычисляют шаг резьбы Δ по формуле

$$\Delta = \frac{A' - A}{H}. \qquad (7.6)$$

Определение длины l

1) Нивелиром делают оттиск на бумаге так, чтобы остались следы от подъемных винтов.

2) Соединяют центры подъемных винтов B_1 и B_2 и опускают перпендикуляр на эту линию из центра винта B_3 (рис. 7.4).

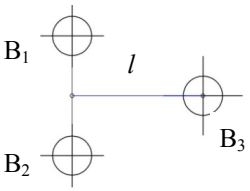


Рис. 7.4. Определение длины l

3) При помощи линейки измеряют длину перпендикуляра с точностью до 1 мм.

Обработка результатов измерений

1) Заполняют табл. 7.3 согласно формулам, прописанным в шапке.

Таблица 7.3

Определение цены деления цилиндрического уровня при помощи подъемных винтов

№	Отсчёты		Контроль П–Л	Л+П	Отсчёты		Контроль П′-Л′	Л′+ П′	(Л+П) – – (Л′+ П′)
	Л	П			Л′	П′			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-4,9	1,3	6,2	-3,6	-1,0	5,2	6,2	4,2	-7,8
2	-5,2	1,1	6,3	-4,1	-1,0	5,2	6,2	4,2	-8,3
3	-5,3	1,0	6,3	-4,3	-1,2	5,0	6,2	3,8	-8,1
4	-5,2	1,1	6,3	-4,1	-1,3	4,9	6,2	3,6	-7,7
5	-4,9	1,3	6,2	-3,6	-1,2	5,0	6,2	3,8	-7,4
6	-5,3	1,0	6,3	-4,3	-1,1	5,1	6,2	4,0	-8,3
7	-5,2	1,0	6,2	-4,2	-1,6	4,7	6,3	3,1	-7,3
8	-5,1	1,1	6,2	-4,0	-1,1	5,1	6,2	4,0	-8,0
9	-5,2	1,0	6,2	-4,2	-1,0	5,2	6,2	4,2	-8,4
10	-5,2	1,0	6,2	-4,2	-1,1	5,1	6,2	4,0	-8,2
11	-5,3	1,0	6,3	-4,3	-1,2	5,0	6,2	3,8	-8,1
12	-5,1	1,2	6,3	-3,9	-1,3	5,0	6,3	3,7	-7,6
13	-5,0	1,2	6,2	-3,8	-1,5	4,7	6,2	3,2	-7,0

2) Вычисляют цену деления уровня по формуле

$$\tau = \frac{\Delta \cdot \rho''}{l \cdot n}, \qquad (7.7)$$

где Δ – шаг резьбы, мм; ρ'' – радиан в секундной мере, $\rho'' = 206265''$; l – длина перпендикуляра от винта B_3 до прямой, соединяющей винты B_1 и B_2, мм; n – суммарное перемещение пузырька, которое определяется по формуле

$$n = \frac{\sum[(Л + П) - (Л' + П')]}{2}. \qquad (7.8)$$

По результатам двойного определения цены деления цилиндрического уровня сделать вывод, сравнив полученные значения с номинальным.

8. ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДНЕЙ КВАДРАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УГЛА

Цель: приобретение навыков по измерению углов и исследование погрешности измерения горизонтальных углов электронным тахеометром.

Задачи:

1. Освоить на практике методику измерения углов электронным тахеометром TopconGTS-105N.
2. Произвести поверки прибора перед началом проведения работ.
3. Оформить ведомость измерения углов.
4. Сделать вывод по результатам выполненного исследования, сравнив СКП в паспорте с получившимся, и указать пригодность прибора.

Приборы и принадлежности: электронный тахеометр Topcon GTS-105N, штатив, подставка.

Общие сведения

Электронные тахеометры предназначены для измерения расстояний, горизонтальных и вертикальных углов и определения значений их функций [19]. Электронный тахеометр TopconGTS-105N можно также использовать для определения координат и высот точек местности при топографической съёмке местности, при разбивочных работах, выносе на местность высот и координат проектных точек и т.д.

Погрешности измерения углов для теодолитов и электронных тахеометров являются основными метрологическими характеристиками, а их определение представляет косвенное сравнение с эталон-

ным. В качестве меры погрешности принята обобщенная характеристика рассеяния результатов, полученных в ряду независимых измерений одной и той же физической величины, т.е. средняя квадратическая погрешность m_β, значение которой не должно превышать значений, указанных в паспорте прибора.

В зависимости от максимально допускаемой средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла одним приемом и максимальной допускаемой средней квадратической погрешности измерения расстояния одним приемом тахеометры бывают двух типов: точные и технические. Электронный тахеометр Topcon GTS-105N относится к точным приборам, поскольку СКП измерения углов составляет 5″ [20].

СКП измерения горизонтальных углов m_β электронным тахеометром (теодолитом) можно оценить следующими методами:

- многократное измерение горизонтального угла β;
- многократное измерение эталонного горизонтального угла;
- многократное измерение нескольких горизонтальных углов;
- предварительная обработка угловых измерений в триангуляции.

Студентам предлагается исследовать СКП измерения горизонтального угла первым методом, который входит в перечень определения метрологических характеристик данного прибора при проведении поверок [20, п. 17.7.7.3.12].

Порядок выполнения лабораторной работы

1) Выбирают две визирные цели, горизонтальный угол между которыми должен находиться в пределах $90 \pm 30°$, а вертикальный угол при визировании на них не должен отличаться более чем на 20°. Также с целью исключения погрешности за перефокусировку марки должны находиться на одинаковом расстоянии.

2) Устанавливают прибор и приводят его в рабочее положение.

3) Визируются на левую выбранную марку при первом положении вертикального круга (например, КЛ). Устанавливают отсчет по

горизонтальному кругу, равный 0°, берут отсчет и записывают его в табл. 8.1 (столбец 3). На рис. 8.1 показано, как можно установить отсчет по ГК, равным 0°, путём нажатия сначала на клавишу «F1», а потом на «F3».

4) Для уменьшения влияния ошибки наведения на определение СКП измерения горизонтального угла наводящим винтом алидады сбивают отсчет и производят повторное наведение на цель. Берут отсчет и записывают его в табл. 8.1 (столбец 4).

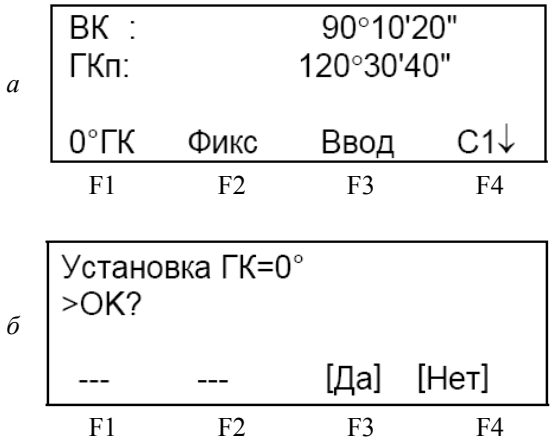


Рис. 8.1. Установка на ГК отсчета, равного 0°

5) При том же положении вертикального круга визируются на правую выбранную цель и берут отсчеты при двойном наведении. Записывают их в табл. 8.1.

6) Переводят трубу через зенит, тем самым меняют положение вертикального круга (теперь это КП). Производят двойное наведение на первую и вторую цель и записывают отсчеты в табл. 8.1 (столбец 7 и 8). На этом измерения в одном приеме окончены. Таким образом, получается **восемь измерений в одном приеме**.

7) Далее приступают к следующему приему: возвращают трубу в положение КЛ и устанавливают на горизонтальном круге отсчет, равный 30°. Для этого поворачивают алидаду так, чтобы отсчет по горизонтальному кругу составлял 330° (± 1–2°), и устанавливают 0°

ГК (см. рис. 8.1, *б*). Визируются на левую цель, записывают отсчет и повторяют п. 4–6.

8) По окончании второго приема устанавливают на горизонтальном круге отсчет, равный 60°, для чего повторяют действия из п. 7.

Примечание. Студентам необходимо сделать **четыре серии** (I, II, III и IV), которые состоят из **12 приемов каждая**, т.е. $\varphi = 0°, 30°, 60°, 90° ... 330°$. Каждая серия оформляется отдельной таблицей.

Порядок обработки результатов измерений

1) Рассчитывают среднее значение отсчета при двойном наведении для КЛ и КП (табл. 8.1) (столбец 5 и 9).

2) Вычисляют значения горизонтальных углов $\beta_{КЛ}$ и $\beta_{КП}$ (табл. 8.1) (столбец 6 и 10).

3) Для контроля вычисляют значение в 11-м столбце, которое не должно превышать двойного значения коллимационной ошибки прибора. По паспорту коллимационная ошибка $c = 20''$ [20, п. 17.7.7.3.3].

4) Вычисляют значение измеренного горизонтального угла (табл. 8.1) (столбец 12) по формуле

$$\beta_{изм} = \frac{\beta_{КЛ} + \beta_{КП}}{2}. \qquad (8.1)$$

5) По результатам заполнения таблицы для первой серии создают таблицу вычисления СКП (табл. 8.2), в которой вычисляют:

- СКП измерения угла одним приемом по формуле

$$m_\beta^I = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}}, \qquad (8.2)$$

где V_i – отклонения значения углов β в *i*-м приеме от среднего в данной серии измерений, $V_i = \beta_i - \beta_{ср}$; n – количество приемов в серии (n = 12).

- СКП определения СКП измерения угла одним приемом по формуле

Таблица 8.1

Пример заполнения ведомости измерения углов (первая серия)

Номер серии	Точка виз.	КЛ			$\beta_{КЛ}$	КП			$\beta_{КП}$	$КЛ_{ср} - КП_{ср} \pm 180°$	Значение угла
		1	2	среднее		1	2	среднее			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	1	0°0′0″	0°0′02″	0°0′01″	79°55′48,5″	179°59′54″	179°59′53″	179°59′53,5″	79°55′53″	+7,5″	79°55′50,75′
	2	79°55′49″	79°55′50″	79°55′49,5″		259°55′44″	259°55′48″	259°55′46″		+3,5″	
II	1	29°52′10″	29°52′13″	29°52′11,5″	79°55′51,5″	209°52′15″	209°52′19″	209°52′17″	79°55′47″	-5,5″	79°55′49,2″
	2	109°48′01″	109°48′05″	109°48′03″		289°48′08″	289°48′06″	289°48′04″		-1″	
…	1	…	…			…	…				
	2	…	…			…	…				
XII	1	332°17′15″	332°17′07″	332°17′11″	79°55′54″	152°17′06″	152°17′05″	152°17′05,5″	79°55′53,5′′	+5,5″	79°55′53,75″
	2	52°13′06″	52°13′04″	52°13′05″		232°12′59″	232°12′59″	232°12′59″		+6″	

Таблица 8.2

Пример вычисления СКП m_{β}^{l} (первая серия)

Номер приема	Значение угла β	V_i	V_i^2
1	79°55′50,75″	-1,31	1,7161
2	79°55′49,25″	-2,81	7,8961
3	79°5′50,50″	-1,56	2,4336
4	79°56′52,25″	0,19	0,0361
5	79°55′53,00″	0,94	0,8836
6	79°55′49,50″	2,56	6,5536
7	79°55′52,00″	-0,06	0,0036
8	79°55′52,00″	-0,06	0,0036
9	79°55′52,75″	0,69	0,4761
10	79°55′51,25″	-0,81	0,6561
11	79°55′54,75″	2,69	7,2361
12	79°55′53,75″	1,69	2,8561

$$M^{I}_{m^{I}_{\beta}} = \frac{m^{I}_{\beta}}{\sqrt{2(n-1)}}. \qquad (8.3)$$

6) По аналогии заполняют таблицы для других серий и по результатам их заполнения создают таблицы вычисления СКП для каждой серии отдельно.

7) По завершении расчетов создают сводную ведомость (табл. 8.3), где вычисляют средние окончательные значения β, m_{β} и $M_{m_{\beta}}$.

8) По результатам выполненного исследования делают вывод о пригодности прибора, сравнив СКП в паспорте с получившимся.

Определение среднеарифметического значения измеренного угла: $\beta^{I}_{ср} = \frac{\sum \beta_i}{12} = 79°55'52,06''$.

Вычисление СКП измерения угла одним приемом: $m^{I}_{\beta} = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{30,7507}{11}} = 1,67$.

Вычисление СКП определения СКП измерения угла одним приемом: $M^{I}_{m^{I}_{\beta}} = \frac{m^{I}_{\beta}}{\sqrt{2(n-1)}} = \frac{1,67}{\sqrt{22}} = 0,356$.

Таблица 8.3

Пример сводной ведомости

Номер серии	Наблюдатель	β	m_{β}	$M_{m_{\beta}}$
I	Петров	79°55′52,06″	1,8″	0,38″
II	Иванов	79°55′53,11″	1,9″	0,40″
III	Петров	79°55′52,37″	2,2″	0,47″
IV	Иванов	79°55′53,04″	1,8″	0,38″
Среднее значение		79°55′52,65″	1,92″	0,20″

9. СЪЕМКА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК. РЕШЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ЗАДАЧ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Цель: приобретение навыков решения инженерных задач с применением современных электронных тахеометров. Знакомство с базовыми требованиями при составлении горно-графической документации на основе результатов маркшейдерской съемки.

Задачи:

1. Проложить полигонометрический ход по капитальным и подготовительным выработкам. Имитация выполняется на учебном полигоне 4-го этажа главного корпуса ПНИПУ.

2. Выполнить съемку капитальных и подготовительных выработок в масштабе 1:1000 (всей площади учебного полигона) (рис. 9.1).

3. Выполнить специальную съемку очистных выработок (задается по варианту (рис. 9.2)) в масштабе 1:100, с целью дальнейшего решения маркшейдерских задач.

4. Выполнить замер сечений очистных выработок в характерных местах.

5. По результатам съемки рассчитать объем бетона для производства бетонной крепи с помощью опалубки.

Исходные данные

Схема расположения горных выработок (учебный полигон) (см.рис.9.1). Наименование участка горной выработки соответствует номеру бригады и указано на рис. 9.2. Координаты исходной точки и значение дирекционного угла опорной стороны определяются по формулам (9.3)–(9.6).

Приборы и принадлежности: тахеометр Leica FlexLine TS06plus, штатив, подставка.

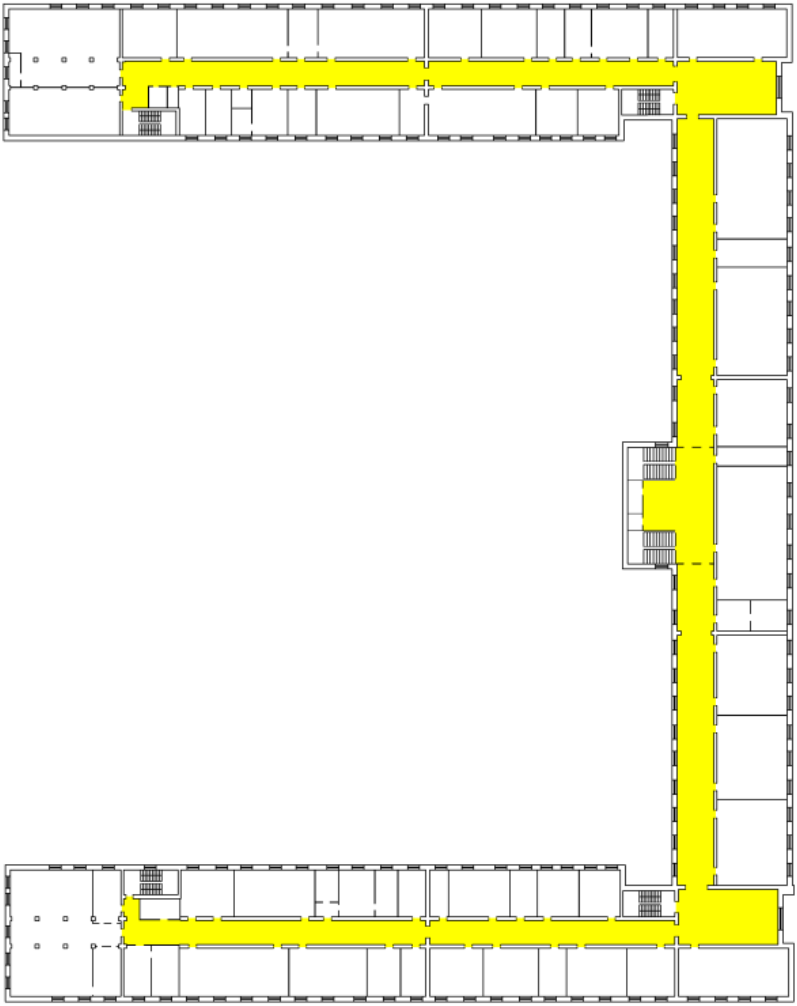


Рис. 9.1. Схема расположения горных выработок (учебный полигон)

Общие сведения

Основная задача подземных маркшейдерских съемок заключается в своевременном и точном определении в пространстве положения горных выработок и других объектов, представляющих интерес для безопасной и эффективной работы горного предприятия.

Маркшейдерская служба также обеспечивает вынесение в натуру проектов сооружений и контроль их строительства, учет движения запасов и полноты извлечения полезного ископаемого, определение фактически выполненных объемов горных работ и наличие полезного ископаемого на складах и т.д.

Для решения этого многообразия задач маркшейдерская служба в подземных условиях создает сеть опорных и съемочных сетей, которые позволяют с оптимальными трудовыми затратами и необходимой точностью решать приведенные выше задачи.

Подземные маркшейдерские опорные сети являются главной геометрической основой для выполнения съемок горных выработок и решения горно-геометрических задач, обеспечивающих правильную и безопасную разработку месторождений полезных ископаемых.

Состоят опорные сети из полигонометрических ходов, прокладываемых главным образом по главным подготовительным выработкам.

Измерения в полигонометрических ходах должны производиться со следующей точностью:

- средние квадратические погрешности измерения горизонтальных углов 20″, вертикальных 30″;
- расхождение между двумя измерениями линии 1:3000 длины стороны.

Угловая невязка в полигонометрических ходах не должна превышать величин, определяемых по следующим формулам:

- в замкнутых полигонах

$$f_\beta = 2m_\beta\sqrt{n}, \tag{9.1}$$

- в висячих полигонах, пройденных дважды,

$$f_\beta = 2m_\beta\sqrt{n_1 + n_2}, \tag{9.2}$$

где m_β – средняя квадратическая погрешность измерения углов; n – число сторон полигонометрического хода; $n_1 + n_2$ – число углов первого и второго ходов соответственно.

Линейная относительная невязка в замкнутых полигонах не должна превышать 1:3000 длины хода, в разомкнутых – 1:2000.

Подземные маркшейдерские съемочные сети используются как основа для съемки горных выработок. Состоят они из теодолитных ходов, которые прокладываются для съемки подготовительных выработок, и угломерных ходов, используемых для съемки очистных забоев и нарезных выработок в очистных блоках. Теодолитные ходы развиваются от пунктов полигонометрической сети, угломерные – как от пунктов теодолитного, так и полигонометрического хода. Теодолитные ходы могут быть замкнутыми, разомкнутыми и проложенными дважды.

Основные характеристики съемочных сетей приведены в «Инструкции по производству маркшейдерских работ» [21].

Порядок выполнения лабораторной работы

Данную лабораторную работу условно можно разделить на три этапа:

- подготовительный,
- полевой,
- камеральный.

Подготовительный этап

На подготовительном этапе студенты вычисляют значения исходных данных. К первичным исходным данным относятся координаты начальной точки X_0, Y_0, H_0 и значение дирекционного угла опорной стороны α_{A-B}.

Примечание. Линия А-В не проходит через точку «0».

Координаты точки «0» определяются по формулам

$$X_0 = N_{\text{б}} \cdot 1100 \text{ м}; \quad (9.3)$$

$$Y_0 = N_{\text{б}} \cdot 1100 \text{ м}; \quad (9.4)$$

$$Z_0 = N_{\text{п}} \cdot 110 \text{ м}, \quad (9.5)$$

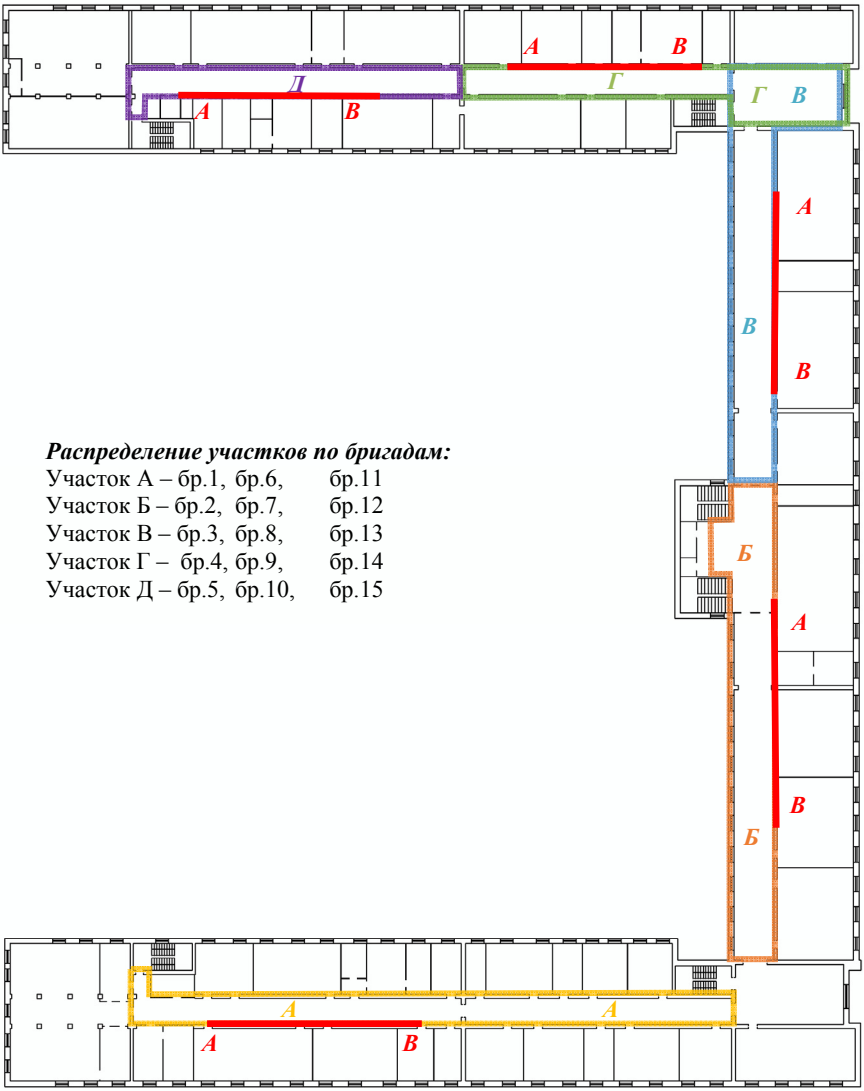
где $N_{\text{б}}$ – номер бригады (1, 2, 3 …); $N_{\text{п}}$ – номер подгруппы (1 или 2).

Дирекционный угол определяется из выражения

$$\alpha_{A-B} = N_{\text{П}} \cdot 110° + N_{\text{Б}} \cdot 20°. \quad (9.6)$$

Полевой этап

В качестве исходной точки на местности выбирается любая точка, расположенная на участке очистной выработки (рис. 9.2).



Распределение участков по бригадам:

Участок А – бр.1, бр.6, бр.11
Участок Б – бр.2, бр.7, бр.12
Участок В – бр.3, бр.8, бр.13
Участок Г – бр.4, бр.9, бр.14
Участок Д – бр.5, бр.10, бр.15

Рис. 9.2. Схема расположения очистных выработок

Кроме того, на данном этапе студенты определяют стратегию выполнения полевых работ и в случае необходимости аналитически рассчитывают дополнительные данные.

На рис. 9.2 красными линиями показаны опорные стороны, совпадающие со стенами ПНИПУ.

Примечание. Перед началом производства работ студентам необходимо самостоятельно ознакомиться с руководством по эксплуатации электронного тахеометра Leica TS06plus [22] и обратить внимание на следующие пункты:

- *настройка проекта;*
- *точка стояния;*
- *настройка дальномера EDM;*
- *съемка;*
- *базовая линия, опорная линия;*
- *косвенные измерения;*
- *недоступная отметка;*
- *управление файлами (экспорт данных / импорт данных).*

Во время полевого этапа студенты прокладывают полигонометрический ход по капитальным и подготовительным выработкам. Полигонометрический ход прокладывается замкнутый или висячий, пройденный дважды. Для достижения высокой точности при прокладке полигонометрии необходимо обеспечить минимальное количество станций, т.е. стремиться делать более длинные стороны.

В случае если точек полигонометрии будет недостаточно для выполнения съемки всех горных выработок, следует создать точки маркшейдерской съемочной сети. Все требования к точности прокладки опорных и съемочных маркшейдерских сетей приведены в «Инструкции по производству маркшейдерских работ» [21].

Далее, на полевом этапе, выполняется съемка капитальных и подготовительных выработок в масштабе 1:1000. Стоит отметить, что одной из важнейших характеристик горных выработок является отметка кровли (высота).

Примечание. Запрещается при выполнении съемки прислонять веху, отражатель к потолку, это может привести к осыпанию побел-

ки. Измерения кровли необходимо проводить в безотражательном режиме или использовать аналитические методы (недоступная отметка).

Далее необходимо выполнить специальную съемку очистных выработок в масштабе 1:100. Номер участка соответствует номеру бригады, схемы расположения участков приведены на рис. 9.2.

Для корректного расчета объема бетона необходимо выполнить съемку (обмеры) всех ниш на стенах выработки. В нашем случае такими нишами являются дверные и оконные проемы. В случае промера дверей и окон измерения выполняются до полотна двери и до рамы окна. Если проводится промер арки или прохода, то измерения делаются до середины арки.

Камеральный этап

Камеральная обработка результатов полевых измерений – это интерпретация данных по итогам геодезической съемки. Предполагает выполнение различных вычислительных и графических работ.

На камеральном этапе лабораторной работы выполняют:

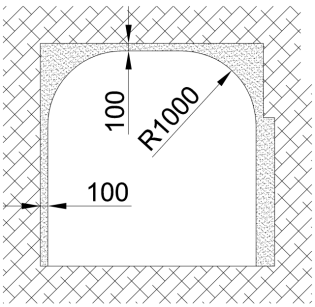


Рис. 9.3. Схема бетонирования горной выработки (измерения указаны в мм)

- расчет и уравнивание теодолитного хода, анализ невязок, составление ведомостей;
- создание плана горных выработок масштаба 1:1000 в соответствии с требованиями к оформлению горно-графической документации: ГОСТ 2.850–75 – ГОСТ 2.857–75 [23–30];
- создание плана очистных выработок масштаба 1:100;
- составление схем сечения горных выработок в характерных точках (но не менее двух);
- расчёт объем бетона для производства бетонной крепи с помощью опалубки на основе приведенной схемы бетонирования (рис. 9.3).

Сплошную горную крепь, выполненную из бетона и возводимую с помощью опалубки, применяют для крепления капитальных горизонтальных, наклонных и вертикальных выработок со сроком службы 10 лет и более и установившимся равномерно распределённым горным давлением.

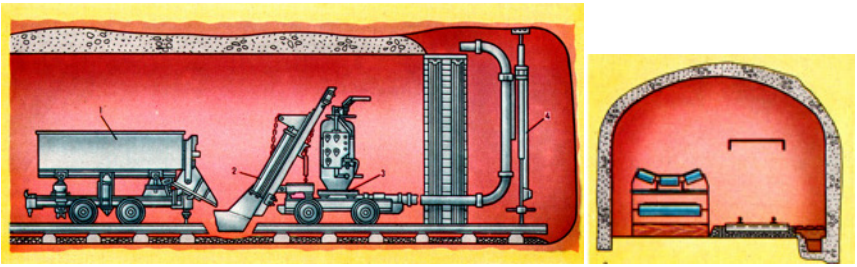


Рис. 9.4. Технология бетонирования горной выработки

На рис. 9.4. представлена технология бетонирования горной выработки

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паспорт теодолита 2Т2 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.studfile.net/preview/6305741/page:4/.

2. Захаров А.Н. Геодезические приборы: справочник. – М: Недра, 1989. – 314 с.

3. Елисеев С.В. Геодезические инструменты и приборы. – М.: Недра, 1973. – 392 с.

4. Ямбаев Х.К., Голыгин Н.Х. Геодезическое инструментоведение: практикум: учеб. пособие для вузов. – М.: ЮКИС, 2005. – 312 с.

5. Кузнецов П.Н., Васютинский И.Ю., Ямбаев Х.К. Геодезическое инструментоведение: учебник для вузов. – М.: Недра, 1984. – 364 с.

6. Спиридонов А.И., Кулагин Ю.П., Кузьмин М.В. Поверка геодезичесхих приборов. – М.: Недра, 1981. – 159 с.

7. Гусев В.Н., Раик М.В., Зверевич В.В. Методы исследования маркшейдерско-геодезических приборов: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. горн. ин-та, 1992. – 87 с.

8. A-GEO. Геодезическое оборудование ООО «А-ГЕО». Тахеометр электронный [Электронный ресурс]. – URL:http://www.a-geo.com/obshchie/takheometry.

9. Федоров Б.Д. Маркшейдерско-геодезические приборы и инструменты: учебник для вузов. – М.: Недра, 1971. – 288 с.

10. Литвинов Б.А., Лобачев В.М., Воронков Н.Н. Геодезическое инструментоведение: учебник для вузов. – М.: Недра, 1971. – 328 с.

11. Гусев Н.А. Маркшейдерско-геодезические инструменты и приборы: учеб. пособие. – М.: Недра, 1968. – 316 с.

12. Геодезия для студентов, аспирантов и преподавателей [Электронный ресурс]. – URL: http://geodetics.ru/ekscentrisitet.html.

13. Инженерная защита. Библиотека материалов по инженерной защите. Измерение углов [Электронный ресурс]. – URL: http://geodetics.ru/ekscentrisitet.html.

14. Кошкина Л.Б. Геодезические инструменты: учеб. пособие; Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2006. – 66 с.

15. ГКИНП (ГНТА) 03-010-02. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов: утверждена Руководителем Федеральной службы геодезии и картографии России 25 декабря 2003 г. N 181-пр. Дата введения 2004-02-01 [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200042425.

16. ГКИНП (ГНТА) 17-195-99. Инструкция по проведению поверки геодезических приборов: утверждена приказом руководителя Роскартографии от 17 июня 1999 г. N 80-пр.: Дата введения 1999-10-01 [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200037142.

17. Практикум по геодезии: учеб. пособие для вузов / В.В. Баканова, Я.Я. Карклин, Г.К. Павлова, Н.С. Черемисин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1983. – 456 с.

18. Методика института. Рейки нивелирные. Методика поверки. МИ 02-00 / ЦНИИГАиК. – М., 2000. – 39 с.

19. ГОСТ Р 51774.–2001. Тахеометры электронные. Общие технические условия: принят и введен в действие постановлением Госстандарта России от 6 июля 2001 г. n 260-ст. Дата введения 2002-07-01 [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200025421.

20. Руководство по эксплуатации. Электронный тахеометр Topcon. Серия GTS-100N, GTS-102N, GTS-105N. 2006. – 184 с.

21. РД 07-603-03. Инструкция по производству маркшейдерских работ: утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 06.06.03 № 73. Дата введения 2003-06-29 [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200032101.

22. Руководство по эксплуатации Leica FlexLine TS02/TS06/TS09. Версия 2.0, – Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 2009. – 334 с.

23. ГОСТ 2.850–75. Горная графическая документация. Виды и комплектность:утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 24.01.79 N 185. Дата введения 1980-01-01 [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200011756.

24. ГОСТ 2.851–75. Горная графическая документация. Общие правила выполнения горных чертежей: утвержден и введен в дейст-

вие постановлением государственного комитета СССР по стандартам от 24.01.79 N 185. Дата введения 1980-01-01 [Электронный ресурс]. – URL:https://docs.cntd.ru/document/1200011957/titles.

25. ГОСТ 2.852–75. Горная графическая документация. Изображение элементов горных объектов: утвержден и введен в действие постановлением государственного комитета СССР по стандартам от 24.01.79 N 185. Дата введения 1980-01-01 [Электронный ресурс]. – URL:https://docs.cntd.ru/document/1200011960.

26. ГОСТ 2.853–75. Горная графическая документация. Правила выполнения условных обозначений: утвержден и введен в действие постановлением государственного комитета СССР по стандартам от 24.01.79 N 185. Дата введения 1980-01-01 [Электронный ресурс]. – URL:https://docs.cntd.ru/document/1200011962.

27. ГОСТ 2.854–75. Горная графическая документация. Обозначения условные ситуации земной поверхности: утвержден и введен в действие постановлением государственного комитета СССР по стандартам от 24.01.79 N 185. Дата введения 1980-01-01 [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200011964.

28. ГОСТ 2.855–75. Горная графическая документация. Обозначения условные горных выработок: утвержден и введен в действие постановлением государственного комитета СССР по стандартам от 24.01.79 N 185. Дата введения 1980-01-01 [Электронный ресурс]. – URL:https://docs.cntd.ru/document/1200011965.

29. ГОСТ 2.856–75. Горная графическая документация. Обозначения условные производственно-технических объектов: утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 24.01.79 N 185. Дата введения 1980-01-01 [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200011966.

30. ГОСТ 2.857–75. Горная графическая документация. Обозначения условные полезных ископаемых, горных пород и условий их залегания: утвержден и введен в действие постановлением государственного комитета СССР по стандартам от 24.01.79 N 185. Дата введения 1980-01-01 [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200011973.

Учебное издание

БОГДАНЕЦ Евгений Сергеевич,
ЗЫРЯНОВ Алексей Русланович,
ЛЕБЕДЕВА Олеся Олеговна

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ПРИБОРЫ И ТЕХНОЛОГИИ

В двух частях

Часть 1

Маркшейдерско-геодезические приборы

Учебно-методическое пособие

Редактор и корректор *И.А. Мангасарова*

Подписано в печать 21.09.2021. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 5,4. Тираж 28 экз. Заказ № 184/2021.

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.