

ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ЛУЧОМ

Б. И. БОЛЬШАНИН

*(Представлено научной конференцией горно-эксплуатационного
факультета).*

В связи с ростом объема гидромелиоративных работ, строительства промышленных и других предприятий, жилищно-коммунального строительства, в особенности в районах целинных и залежных земель, топографические съемки крупных масштабов (1:10000 и крупнее) приобретают большое значение. В горной промышленности крупномасштабные съемки являются основными.

Особое место в этих работах занимает мензульная съемка. Из наземных съемок она наиболее рентабельна и дает сравнительно высокую точность, в особенности при изображении рельефа, следовательно, повышению производительности труда на этом виде работ должно быть уделено серьезное внимание.

Недавно из печати вышел сборник статей новаторов топографо-геодезического производства [1], в котором топографы-полевики делятся своим опытом рационализации полевых работ по съемке местности. В частности в нем уделяется внимание вопросу применения горизонтального луча зрения в топографической съемке.

В комплексе полевых работ по мензульной съемке большое место занимает так называемый набор пикетов, состоящий из наведения трубы на рейку, определения расстояния по рейке и определения отметки реечной точки. Процесс получения отметок реечных точек посредством тригонометрического нивелирования (наклонным лучом зрения) является самым трудоемким. Он складывается из следующих действий: 1) наведения трубы средней нитью сетки на определенный отсчет на рейке или на метку с обозначением высоты инструмента, 2) выведения пузырька уровня при вертикальном круге на середину, 3) отсчета по вертикальному кругу, 4) вычисления угла наклона визирной линии, 5) вычисления превышения по таблице или номограмме и, наконец, 6) вычисления отметки реечной точки.

Таким образом, процесс определения отметок точек состоит из шести действий. Запись отсчетов и вычисления ведет вычислитель, имеющий определенный навык.

Применение горизонтального луча зрения при наборе пикетов позволит сократить число действий с шести до четырех или даже до трех, если применять специальную рейку. При этом отпадают самые трудоемкие и неудобные этапы работ: отсчитывание по вертикальному кругу и вычисление превышений.

Кафедра геодезии Томского политехнического института в 1954 г. провела экспериментальные работы по набору пикетов в мензульной съемке с применением горизонтального луча зрения. Съемка производилась в масштабе 1:2000 сравнительно равнинной местности. В этих работах были применены кипрегель с уровнем, прикрепленным к трубе, и специальная рейка с подвижной шкалой делений.

В настоящей статье освещаются вопросы, связанные с применением горизонтального луча зрения в мензультной съемке: поверки кипрегеля с уровнем на трубе, применение реверсионных уровней, устройство специальной рейки и данные хронометража по набору пикетов.

Установка визирной оси в горизонтальное положение и точность нивелирования

При проведении экспериментальных работ был применен кипрегель Феннеля №11411 с реверсионным (оборотным) уровнем на трубе, характеризующийся следующими данными: фокусное расстояние объектива 250 мм, увеличение трубы 18X, цена деления уровня при трубе 33", цена деления уровня при вертикальном круге 72" и точность верньера 1'.

Для приведения визирного луча в горизонтальное положение необходимо, чтобы было выполнено условие параллельности визирной оси и оси уровня на трубе. Выполнение этого условия связано с производством двойного нивелирования, которое отнимает много времени, что, безусловно, отражается на производительности труда.

Применение реверсионных уровней исключает необходимость применения двойного нивелирования в полевых условиях на каждой станции. Рассмотрим, как выполняется в этом случае условие параллельности визирной оси и оси уровня.

В реверсионном уровне две оси. Эти оси по идее должны быть параллельны. Однако они могут быть и непараллельны, поэтому рассмотрим оба случая.

Первый случай: оси уровня параллельны.

Пусть на рис. 1 $o_1 o_2$ — ось уровня (любая), $v_1 v_2$ — визирная ось трубы, b_0 — отсчет по рейке, соответствующий горизонтальному положению визирного луча, b' и b'' — отсчеты по рейке, взятые при различных положениях вертикального круга и x — ошибка в отсчете по рейке из-за негоризонтальности визирного луча.

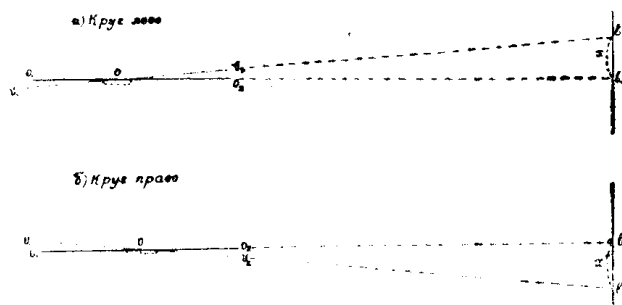


Рис. 1 а и б.

Из чертежа видно, что

$$x = \frac{1}{2} (b' - b''), \quad (1)$$

$$b_0 = \frac{1}{2} (b' + b''). \quad (2)$$

Для установления параллельности между осью уровня и визирной осью достаточно трубу навести на отсчет b_0 и исправительным винтом уровня пузырек его вывести на середину. Такая поверка может быть выполнена очень быстро.

Второй случай: оси уровня непараллельны.

На рис. 2 o_1o_2 и $o'_1o'_2$ —оси уровня, ν —угол между осями уровня, ε_1 и ε_2 —углы между визирной осью и осями уровня, b' и b'' —отсчеты по рейке, поставленной в точке B , i_a —высота инструмента над точкой A , x и y —ошибки в отсчетах по рейке, вызванные негоризонтальностью визирного луча, при положении круга справа и слева (КП и КЛ).

Согласно чертежу напомним следующие соотношения:

$$\text{КЛ (уровень сверху)} \quad h = i_a - b' + x, \quad (a)$$

$$\text{КП (уровень снизу)} \quad h = i_a - b'' + y. \quad (б)$$

После перехода с точки A на точку B будет:

$$\text{КЛ} \quad -h = i_b - a' + x, \quad (в)$$

$$\text{КП} \quad -h = i_b - a'' + y, \quad (г)$$

где i_b —высота инструмента над точкой B ;
 a' и a'' —отсчеты по рейке, поставленной в точке A .

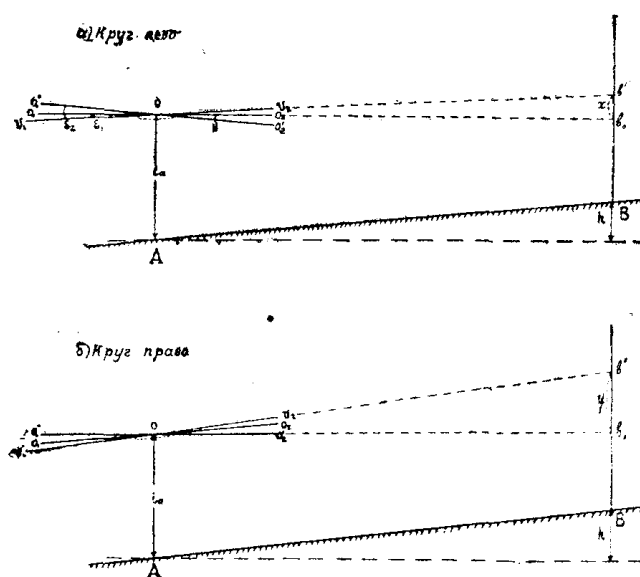


Рис. 2 а и б.

Из соотношений (а) и (в) и из (б) и (г) получим следующие формулы:

$$x = \frac{1}{2} (a' + b') - \frac{1}{2} (i_a + i_b), \quad (3)$$

$$y = \frac{1}{2} (a'' + b'') - \frac{1}{2} (i_a + i_b). \quad (4)$$

Контроль

$$x - y = a' - a'' = b' - b''.$$

Углы между визирной осью и осями уровня будут равны

$$\varepsilon_1 = \frac{x}{d} \rho; \quad \varepsilon_2 = \frac{y}{d} \rho; \quad (5)$$

$$\nu = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$$

или

$$\nu = -\frac{\rho}{2d} [(a'' + b'') - (a' + b')], \quad (6)$$

где d —расстояние от инструмента до рейки.

Из формулы (6) видно, что ошибка определения угла между осями уровня равна ошибке отсчета по рейке, выраженной в угловой мере

$$m_v = m_0.$$

Но ошибка отсчета по рейке складывается из ошибки визирования m_v и ошибки выведения пузыря уровня на середину m_y , поэтому

$$m_v = \sqrt{m_v^2 + m_y^2}. \quad (7)$$

Расчеты показывают, что ошибка определения угла ν одним приемом при увеличении трубы 18 $\times$ и цене деления уровня 33" равна примерно 8"—10".

Возможность применения реверсионного уровня, оси которого непараллельны, будет зависеть прежде всего от величины угла ν . Если угол ν очень велик, то уровень может быть использован как обычный. Какова же предельная величина угла ν , при которой реверсионный уровень может использоваться по назначению?

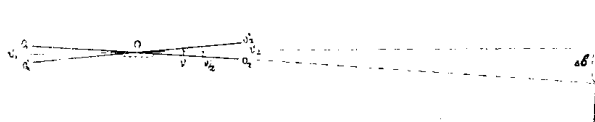


Рис. 3.

Для того чтобы ответить на этот вопрос, сделаем небольшой расчет. Предположим, что визирная ось параллельна биссектрисе угла между осями уровня, погрешность в отсчете по рейке, согласно чертежу (рис. 3), будет

$$\Delta b = \frac{\nu}{2\rho} d.$$

Имея в виду, что ошибка в отсчете по рейке не должна превышать определенной величины, найдем, при каком угле ν непараллельностью можно пренебречь

$$\nu \leq 2 \frac{\Delta b}{d} \rho. \quad (8)$$

таблице 1 приведены значения угла ν , вычисленные по формуле (8) при различных значениях Δb .

Таблица 1

Δb (см)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
d (м)					
50	41"	83"	124"	165"	206"
75	28	55	83	110	138
100	21	41	62	83	103
125	16	33	50	66	83
150	14	27	41	55	69

Из этой таблицы следует, что перед выездом на полевые работы необходимо определить значение угла ν и установить границы пользования уровнем как реверсионным.

С другой стороны, зная угол между осями уровня, можно условно на одной из сторон его сместить нуль-пункт на число делений, соответствующих этому углу, после чего оси уровня окажутся параллельными. Смещение нуль-пункта на 5—10 делений при цене деления 30—35" изменит положение оси уровня на 150—350". Удобнее для работы нуль-

пункт смещать на той стороне, которая обращена к трубе. Естественно, что при очень большой непараллельности осей нуль-пункт можно сместить на обеих сторонах уровня.

Подсчитаем теперь ошибку в превышении нивелируемых точек горизонтальным лучом зрения.

Ошибка установки визирной оси в горизонтальное положение m_{Γ} при параллельных осях уровня будет слагаться из ошибок установки параллельности визирной оси с осью уровня m_{II} и установки пузырька уровня на середину m_y .

$$m_{\Gamma} = \sqrt{m_{II}^2 + m_y^2}.$$

Ошибка установки параллельности визирной оси с осью уровня зависит от ошибки установки визирной оси на средний отсчет $b_o - m_{bo}$ и от ошибки выведения пузырька уровня на середину

$$m_{II} = \sqrt{m_{bo}^2 + m_y^2}$$

и тогда

$$m_{\Gamma} = \sqrt{m_{bo}^2 + 2m_y^2}.$$

Но, согласно формуле (2),

$$m_{bo} = m_b \sqrt{2} = \sqrt{2m_v^2 + 2m_y^2},$$

где m_b — ошибка собственно отсчета по рейке, равная $\sqrt{m_v^2 + m_y^2}$,

m_v — ошибка визирования

и тогда ошибка приведения визирной оси в горизонтальное положение будет

$$m_{\Gamma} = \sqrt{2m_v^2 + 4m_y^2},$$

а ошибка в отсчете по рейке, вызванная ошибкой установки визирной оси в горизонтальное положение и ошибкой собственно отсчета по рейке, будет равна

$$m_o = \sqrt{m_{\Gamma}^2 + m_v^2}$$

или

$$m_o = \sqrt{3m_v^2 + 4m_y^2}. \quad (9)$$

Ошибка же в определении превышения может быть подсчитана по формуле

$$m_h = \sqrt{3m_v^2 + 4m_y^2 + m_i^2}, \quad (10)$$

где m_i — ошибка определения высоты инструмента.

При нивелировании из середины эта ошибка будет значительно меньше, она определится по формуле

$$m_h = \sqrt{2m_v^2 + 2m_y^2}. \quad (11)$$

В табл. 2 приведены данные подсчета величины ошибок, подсчитанных по формулам (9) и (11), в которых принято: $m_v = 3''$, 3 ; $m_y = 0,15\tau$ —

$0,2\tau$ и введен множитель $\frac{d}{p}$.

Для сравнения рассмотрим, какую погрешность в превышении будем иметь при установке визирной оси в горизонтальное положение по вертикальному кругу и уровню при нем.

Ошибка установки визирной оси в горизонтальное положение будет зависеть от ошибок: отсчета по вертикальному кругу m_k , определения места нуля m_{MO} и выведения пузырька уровня на середину m'_y

$$m_{\Gamma}' = \sqrt{m_k^2 + m_{MO}^2 + m_y'^2}. \quad (12)$$

Место нуля определяется по формуле $MO = \frac{1}{2} (R + L)$, поэтому

$$m_{MO} = \sqrt{\frac{1}{4}(m_R^2 + m_L^2)},$$

но

$$m_R = m_L = \sqrt{m_k^2 + m_y'^2 + m_v^2}$$

и тогда

$$m_{MO} = \sqrt{\frac{1}{2}(m_k^2 + m_y'^2 + m_v^2)}.$$

Подставив значение m_{MO} в (12), получим

$$m'_r = \sqrt{\frac{3}{2}(m_k^2 + m_y'^2) + \frac{1}{2}m_v^2}. \quad (12a)$$

Ошибка в отсчете по рейке

$$m_0 = \sqrt{m_r'^2 + m_v^2}$$

или

$$m_0 = \sqrt{\frac{3}{2}(m_k^2 + m_y'^2 + m_v^2)}. \quad (13)$$

Для получения ошибки в превышении достаточно к ошибке отсчета прибавить ошибку определения высоты инструмента.

Значения ошибок в отсчете, подсчитанные по формуле (13), приведены в таблице 2, в которой принято: $m_k = 30'' - 60''$, $m_y' = 15''$, $m_v = 4''$ и введен множитель $\frac{d}{\rho}$.

Таблица 2

d	m_0 (по формуле 9)	m_h (по формуле 11)	m_0 (по формуле 13)
m	mm	mm	mm
50	2,8—3,5	2,1—2,5	10—18
75	4,2—5,2	3,1—3,8	15—28
100	6,6—7,0	4,1—5,0	20—37
125	7,0—8,7	5,1—6,3	25—46
150	8,4—10,4	6,0—7,6	30—55

Приведенный в таблице 2 расчет показывает, что применение уровня на трубе кипрегеля значительно повышает точность определения превышений и при построении рабочего обоснования съемки может в некоторой степени заменить геометрическое нивелирование.

Установка визирной оси в горизонтальное положение по вертикальному кругу и уровню при нем производится значительно грубее. Определение превышений с установкой визирного луча в горизонтальное положение по вертикальному кругу будет выполняться с такой же точностью, как и в тригонометрическом нивелировании. Все же съемку горизонтальным лучом, устанавливаемым по вертикальному кругу, следует рекомендовать, так как при этом можно значительно повысить производительность труда за счет сокращения некоторых этапов работ и вычислений.

Устройство и применение дальномерной рейки

При проведении экспериментальных работ была применена специальная рейка, изготовленная в механической мастерской кафедры. Она состоит из двух деревянных брусков $1,5 \times 6,5$ см и длиной по 3 м—раздвижная рейка, общая длина которой может быть установлена от 3,1 до 5,8 м. Деревянные бруски рейки не имеют делений. Для определения расстояний по дальномеру и для определения превышений поверх брусков натягивается ленточная рейка с нанесенными на ней делениями (шашками). На нижнем конце переднего и на верхнем конце заднего брусков на расстоянии 5 см от концов в тело их вделаны ролики, через которые натягивается ленточная рейка. Концы ленточной рейки закрепляются при помощи специальных зажимов, расположенных вблизи роликов (рис. 4.).

Ленточная рейка нами была сделана из двух стандартных четырехметровых лент с нанесенными на них сантиметровыми шашками. Ленты скреплены нулями, так что у верхней части ленты надписи делений возрастают кверху, а у нижней—книзу (рис. 5). Раскраска ленточной рейки вообще может быть любой по типу дальномерных.

Если при наборе пикетов ленту на раздвижной деревянной рейке закрепить так, чтобы нули обеих лент находились на высоте инструмента, то отсчет по рейке

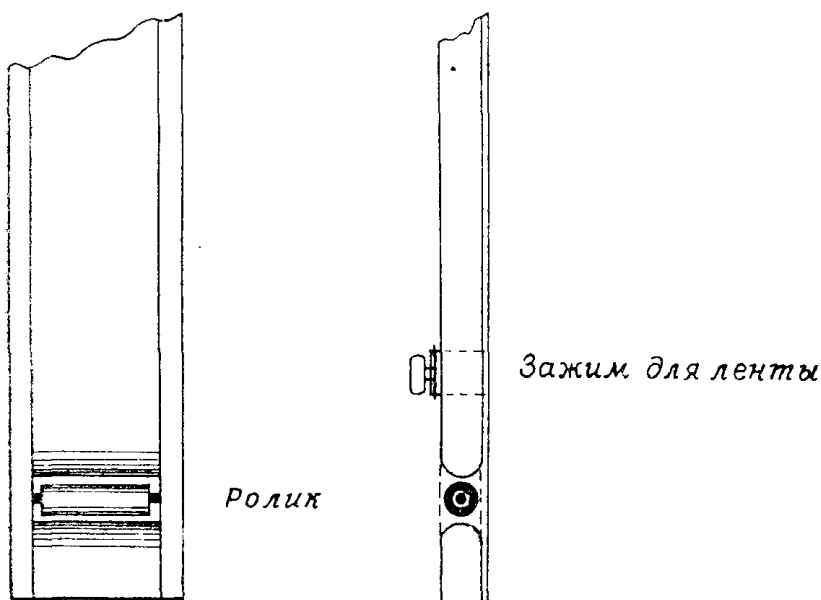


Рис. 4.

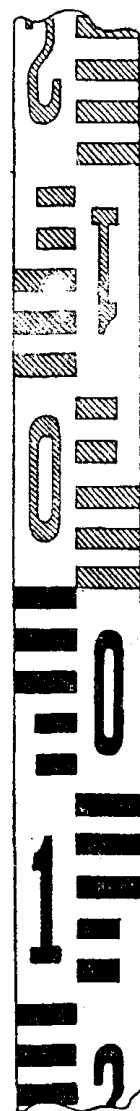


Рис. 5.

при горизонтальном луче зрения будет равен превышению реечной точки над точкой, на которой установлена мензула. При этом, если отсчет взят на той части ленты, надпись делений на которой возрастает книзу (в трубе кверху), то превышение будет положительным, а если отсчет взят там, где деления возрастают кверху (в трубе книзу), то превышение будет отрицательным.

Во избежание ошибок в знаке превышений ленты следует брать с различной окраской шашек или с различной формой их, или, наконец, с различным фоном, на котором нанесены шашки. При проведении опытов нами были взяты ленты с различным фоном: белым и светлоголубым.

К недостаткам ленточной рейки следует отнести ее парусность и растяжение, сопровождающееся остаточной деформацией.

Парусность ленты не будет большой помехой в работе, так как лента находится под натяжением. Для того чтобы верхняя часть ленты, где она не прикасается к деревянным брускам, не вибрировала от ветра, можно сделать дополнительные приспособления в виде хомутиков. Концы лент следует свернуть и скрепить специальными пружинными зажимами.

Очевидно, большим недостатком ленточной рейки будет способность ее к растяжению под влиянием нагрузки. Растяжения ленты сопровождаются остаточной деформацией, размер которой зависит от величины нагрузки, от продолжительности воздействия этой нагрузки, от влажности ленты и от времени, прошедшего после снятия нагрузки.

Испытания ленточной рейки, проведенные в лабораторных условиях, показали, что растяжения сухой ленты почти равномерны и составляют в среднем около 1:500 на каждый килограмм нагрузки (испытания проводились с нагрузкой до шести килограммов).

Остаточная деформация, как и растяжение, больше, если лента новая, не подвергавшаяся растяжению. Остаточная деформация сухой ленты, подвергавшейся растяжению, при непродолжительном воздействии нагрузки (10—15 минут) составляет около 1:2000—1:3000; остаточная деформация влажной ленты в два—три раза больше. При продолжительном воздействии нагрузки (сутки—двое) остаточная деформация сухой ленты около 1:1500, а влажной—также в два—три раза больше.

Из изложенного следует, что ленточную рейку, натянутую на деревянные бруски, можно рекомендовать в качестве дальномерной в топографической съемке. При этом необходимо соблюдать некоторые предосторожности: не оставлять ленту без надобности на длительное время под большим натяжением, в особенности, если она влажная. В практике топосъемочных работ это условие может соблюдаться без особых помех, так как каждый раз при переходе с одной станции на другую будет другая высота инструмента, на которую необходимо поставить нуль делений ленты. На ночь ленту следует снимать с брусков и просушивать. Для удобства в работе на лицевой стороне переднего бруска деревянной рейки необходимо отложить определенную длину (2,0—2,5 м)—нанести риски и по ним регулировать натяжение ленты.

Хронометраж работы по набору пикетов

Во время производственной топографической съемки в масштабе 1:2000 был проведен хронометраж работы по набору пикетов. Мензульная съемка выполнялась одним топографом как при работе горизонтальным лучом зрения—кипрегелем с уровнем на трубе, так и наклонным лучом—тригонометрическим нивелированием. Полноценный хронометраж проведен на 19 станциях; на 12 станциях съемка проводилась горизонтальным лучом и на 7—наклонным. Условия работы по возможности выбирались одинаковые как в отношении местности, так и в отношении метеорологических и других факторов, оказывающих влияние на производительность труда. Хронометраж велся на станциях, на которых снимался почти один рельеф—ситуационных точек было мало и снимались они во вторую очередь.

В таблице 3 приведены данные хронометража, которые показывают, что съемка горизонтальным лучом и применение рейки с подвижной ленточной шкалой позволят значительно повысить производительность труда. Только при наборе пикетов экономия времени составляет в среднем 0,8 минуты на одну реечную точку, или около 20—25%. Если считать, что набор пикетов составляет около 50% общего времени, затрачиваемого

Таблица 3

№№ станций	Количество пикетов на станции	Время, затраченное на набор пикетов на станции, мин.	Среднее удаление рейки от инструмента, м	Среднее время, затраченное на получение отметки одной речной точки, мин.
а) съемка горизонтальным лучом				
1	17	48	41,5	2,8
2	17	44	40,5	2,6
3	20	54	44,0	2,7
4	19	53	42,6	2,8
5	21	44	49,6	2,1
6	38	106	55,5	2,3
7	19	44	45,3	2,3
8	21	34	51,5	1,6
9	21	55	86,3	2,6
10	27	81	62,0	3,0
11	60	162	80,4	2,7
12	9	27	48,6	2,8
Всего	289	752	Средн. 58,6	2,6
б) съемка наклонным лучом				
1	15	47	40,5	3,1
2	12	41	46,5	3,4
3	14	47	41,0	3,3
4	7	29,5	33,0	4,2
5	21	84	45,9	4,0
6	18	58	47,0	3,2
7	18	52	53,0	2,9
Всего	105	358,5	45,1	3,4

на съемку, то производительность труда съемки с применением горизонтального луча зрения может быть выше на 10—12%. Такой же результат получим, если подсчет сделаем другим путем. Норма выработки по съемке в масштабе 1:2000 для II категории местности и сечении рельефа 0,5 м составляет 11 га в день [2]. Для изображения рельефа при съемке этой площади необходимо набрать в среднем 60—70 высотных речных точек. Экономия времени на каждой речной точке 0,8 минуты, следовательно, общая экономия времени составит 50—55 минут, что и даст повышение производительности труда на 11—13%.

Конечно, данных, на основе которых произведен подсчет, недостаточно—они не охватывают различных условий работы, а потому сделанные выводы нуждаются в подтверждении. Однако сам факт повышения производительности труда при указанных методах работы несомненен, и целесообразность применения горизонтального луча зрения в топографической съемке при нерезко выраженном рельефе очевидна.

Выводы

Применение горизонтального луча зрения в топографической съемке крупных масштабов (1:10000 и крупнее) является следующим шагом, как в отношении повышения производительности труда, так и в отношении повышения точности топосъемочных работ.

Применение уровня на трубе кипрегеля и рейки с подвижной шкалой освобождает съемщиков от отсчитываний по вертикальному кругу, от вычислений углов наклона, превышений и горизонтальных проложений по таблицам или номограммам. Все это ведет к значительному сокращению ошибок, являющихся неизбежными при вычислениях и отсчитывании. Опытный вычислитель—помощник топографа может быть заменен менее квалифицированным работником, а в отдельных случаях топограф может обойтись и без помощника.

Использование реверсионных уровней на трубе кипрегеля избавит топографа от необходимости выполнения двойного нивелирования на каждой станции, отнимающего очень много времени. Кипрегелем с уровнем, прикрепленным к трубе, можно получать превышения и отметки точек с значительно большей точностью, чем в тригонометрическом нивелировании. Приведенные в таблице 2 данные показывают, что нивелирование кипрегелем по методу из середины даст ошибку около 10—15 мм на один километр хода (без учета ошибок за растяжение и деформацию ленты), что соответствует точности геометрического нивелирования IV класса. Следовательно, такое нивелирование может быть применено для получения отметок точек рабочего обоснования.

Раздвижная рейка с подвижной шкалой делений, нанесенной на клеенчатой ленте, дает возможность менять размеры ее от 3,1 до 5,8 м (при длине брусков 3 м) и легко устанавливать нуль шкалы на высоте инструмента. Установка нуля шкалы на высоте инструмента и возрастание делений вниз и вверх от нуля имеет то преимущество, что никаких вычислений вести не нужно, так как отсчет по рейке будет равен превышению пикета над точкой станции.

Для увеличения радиуса съемки на станции место для постановки мензулы необходимо выбирать на возвышении.

Таким образом, топографическая съемка горизонтальным лучом зрения с применением специальной рейки дает возможность повысить производительность труда на 10—15% по сравнению со съемкой наклонным лучом зрения и с обычной дальномерной рейкой. Съемка горизонтальным лучом наиболее рентабельна при слабо выраженном рельефе местности, но она может быть рекомендована и при съемке местности с сравнительно ярко выраженным рельефом. В этом случае можно комбинировать съемку горизонтальным лучом со съемкой наклонным лучом, причем в последней отпадает необходимость определения места нуля обычным методом—оно будет определяться значительно проще.

ЛИТЕРАТУРА

1. Опыт работы передовиков на топографической съемке в масштабе 1:10000. Сборник статей, Геодезиздат, 1954.
2. Единые нормы выработки на топографические и геодезические работы. Геодезиздат, 1949.