

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВЕДЕНИЯ

В зависимости от размеров линейных элементов приведения за внецентрированную установку основного теодолита и визирной цели применяют графический или аналитический способ их определения, или способ непосредственных замеров [4, 6].

Поправки для приведения измеренных направлений к центрам геодезических знаков вычисляются по формулам

$$c'' = \frac{e \cdot \rho''}{S} \sin(\theta + M), \quad (1)$$

$$r'' = \frac{e_1 \cdot \rho''}{S} \sin(\theta + M), \quad (2)$$

где  $e$  и  $e_1$ ,  $\theta$  и  $\theta_1$  — линейные и угловые элементы приведения за внецентрированную установку основного теодолита и визирной цели соответственно;  $S$  — расстояние от станции к наблюдаемой визирной цели;  $M$  — угол между начальным и текущим направлениями;  $\rho'' = 206265''$ .

Погрешности поправок  $c''$  и  $r''$  в значительной мере определяют точность данного геодезического построения. Поэтому повышение точности значений этих поправок является важной задачей.

В производственных условиях широко распространен и чаще, чем все остальные, применяется графический способ определения элементов приведения. При этом, согласно [6, 7], длины сторон треугольников погрешностей не должны превышать 10 мм для оси визирной цели, 5 мм — для оси вращения теодолита и 3 мм — для центра знака.

Анализ (1) и (2) показывает, что погрешности в определении положения оси визирной цели, вертикальной оси вращения теодолита и центра знака в одинаковой мере влияют на точность поправок в наблюдаемые направления.

Размеры сторон треугольников погрешностей определяются в основном следующими факторами:

1) ценой деления цилиндрического уровня проектирующего теодолита и точностью установки вертикальной оси его в отвесное положение;

2) качеством юстировки проектирующего теодолита;

3) высотой расположения проектирующих точек и высотой проектирующего теодолита относительно поверхности центрировочного столика;

4) величиной наклона поверхности центрировочного столика и оси визирной цели;

5) точностью совмещения центра [1] с вертикальной осью основного теодолита;

6) отклонениями центра и визирной цели от правильной геометрической формы и ребристой поверхностью ее конструкции.

На размеры сторон треугольников погрешностей может влиять и то, что с разных установок проектирующего теодолита каждый раз на центрировочный столик проектируются различные точки центра возможно неправильной геометрической формы, так как в качестве их используются иногда вспомогательные приспособления.

Отмеченное в определенной мере может иметь место и при проектировании осей визирных целей, которые еще больше отступают от правильной геометрической формы, а положение их осей — от отвесных линий. Поэтому на центрировочный столик (как бы тщательно не проводились работы) проектируют не вертикальные оси основного теодолита и визирной цели, а некоторые точки, расположенные на них, а это может привести к образованию недопустимых треугольников погрешностей. Чтобы уложиться в лимитированные инструкциями допуски, наблюдатели зачастую выбирают фиксированные точки на центре, а вместо центра визирной цели проектируют некоторую точку оси болванки, на которой крепится визирная цель, или оси штыря, выступающего над визирной целью [5]. Такое решение приводит к искажению элементов приведения и приведенных направлений.

Из [6] следует, что если линейные элементы приведения  $e$  не превышают 10 см, то соответствующие угловые элементы  $\theta$  можно определять с точностью до  $2^\circ$ . При значениях  $e$  10...20 см их можно определять с точностью до  $1^\circ$ . Если же линейные элементы превышают 20 см, то точность определения угловых элементов не должна быть ниже  $0,5^\circ$ .

Для измерения угловых элементов  $\theta$  используют визирную линейку и топографический транспортир. Но эти приспособления обеспечивают низкую точность определения их, особенно при малых значениях линейных элементов приведения. Сами искажения при этом могут выходить далеко за пределы  $2^\circ$ . При больших значениях линейных элементов достижение требуемой точности определения угловых элементов трудно выполнимо и не всегда возможно.

Из элементарных расчетов следует, что для получения поправки в направление за внецентренную установку основного теодолита и визирной цели с точностью до  $0,1''$  на знаках до 30 м в триангуляции 4 класса в качестве проектирующего следует использовать теодолит с ценой деления цилиндрического уровня не более  $4...7''$ , в триангуляции 2 и 3 класса — не более  $15''$ , а в триангуляции 1 класса — не более  $30''$ . Эти расчеты сделаны из тех соображений, что установку в рабочее положение проектирующего теодолита производили с точностью до половины деления цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга. Заметим также, что графический способ определения элементов приведения весьма чувствителен к метеорологическим факторам, а сам процесс проектирования малоточный, особенно в том случае, когда центрировочный столик располагается несколько выше горизонтальной оси проектирующего теодолита.

С целью повышения точности определения угловых и линейных элементов приведения нами сконструировано специальное приспособление. В его комплект

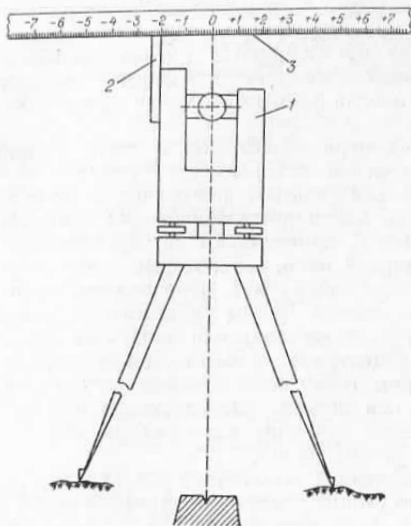


Рис. 1. Редукционно-ориентирующее устройство.

входит теодолит с оптическим центриром и редукционной реечкой (рис. 1) и планшет с градусными делениями (рис. 2). Т-образная свободно снимающаяся линейка 3—4 с миллиметровыми делениями шарнирно соединена с центром окружности, принятым за проекцию центра знака. Тип проектирующего теодолита при отсутствии накладного уровня определяется классом пункта. Однако в любом случае лучше, если в качестве проектирующего использовать основной теодолит, которым измерялись углы (направления). Редукционная реечка изготавливается из легкого и прочного материала, окрашенного в белый цвет с черными миллиметровыми делениями.

Нулевой штрих ее совмещен с вертикальной осью теодолита (см. рис. 1). Учитывая то, что измеряемые линейные элементы могут иметь значительные размеры, редукционную реечку целесообразно изготавливать разборной, складывающейся или раздвижной с малой парусностью. Планшет изготавливают также из легкого и прочного белого материала или поверхность его покрывается светлой краской, по которой хорошо пишет и легко вытирается резинкой карандаш.

Сущность определения элементов приведения предлагаемым способом заключается в следующем. С трех обычных установок проектирующего теодолита измеряют по два частных линейных элемента  $h_1$  и  $h_1'$ ,  $\gamma_1$  и  $\gamma_1'$  путем отсчитывания на редукционной реечке 3 (см. рис. 1) при двух ее установках проекции вертикальных осей инструмента и визирной цели соответственно с фиксацией по горизонтальному кругу ориентирующего теодолита 1 направлений  $M_1$  и  $M_2$ , которым они соответствуют. По этим данным с помощью планшета (см. рис. 2) определяют элементы приведения.

**Порядок работы на станции.** 1. Над центром знака на штативе устанавливают ориентирующий теодолит 1 (см. рис. 1), центрируют и ориентируют его по начальному направлению. За начальное направление целесообразно брать такое, по которому суще-

стствует видимость с Земли. Если же такой видимости нет, то начальное направление отмечают на Земле вехой в процессе наблюдений со столика сигнала.

2. Устанавливают редукционную реечку 3 (см. рис. 1) в горизонтальное положение и производят поверку перпендикулярности ее визирной оси зрительной трубы. Эту поверку можно выполнить с помощью проектирующего теодолита, если провизировать на него ориентирующий теодолит 1, а затем повернуть его алидаду на  $90^\circ$ . При этом плоскость редукционной реечки должна совпа-

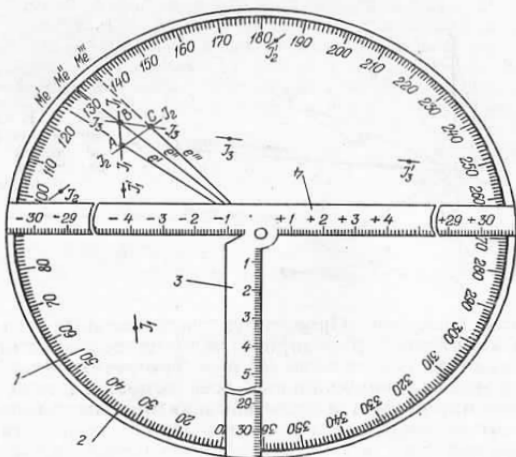


Рис. 2. Планшет.

дать с направлением визирной оси проектирующего теодолита. Это условие может быть обеспечено и конструкцией крепления редукционной реечки.

3. На расстоянии одной-двух высот сигнала от центра знака выбирают точки 1, 2 и 3 (рис. 3) для установки проектирующего теодолита. Эти точки должны быть выбраны так, чтобы проектирующие плоскости располагались под углом друг к другу примерно на  $60(120^\circ)$ , а местные предметы и конструкции знака не закрывали инструментальный столик, визирную цель и редукционную реечку.

4. В каждой из выбранных трех точек поочередно устанавливают проектирующий теодолит, тщательно приводят его в рабочее положение. Производят приближенное визирование ориентирующим теодолитом, установленным над центром знака, на проектирующий. Поворачивают первый из них против хода часовой

стрелки приблизительно на  $30^\circ$  с таким расчетом, чтобы отсчет  $M_1$ , снятый по его горизонтальному кругу, представлялся целым числом градусов. После этого с помощью проектирующего теодолита производят проектирование вертикальных осей основного теодолита (центрира) и визирной цели на редуционную реечку, сопровождая их соответствующими отсчетами по ней ( $h_1$  и  $\gamma_1$ ). Затем поворачивают ориентирующий теодолит по ходу часовой стрелки приблизительно на  $60^\circ$  и снова снимают отсчет по горизонтальному кругу  $M_2$ , который также должен быть представлен це

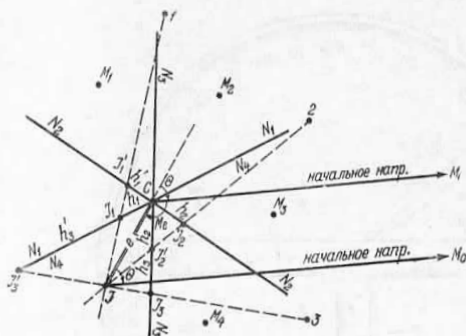


Рис. 3. К теории инструментального графоаналитического способа определения элементов приведения.

лым числом градусов. Проектируя вертикальные оси основного теодолита (центрира) и визирной цели на редуционную реечку, снова снимают по ней отсчеты  $h_1'$  и  $\gamma_1'$  соответственно.

Проектирование вертикальных осей основного теодолита и визирной цели в первом и втором случаях производят при двух положениях зрительной трубы проектирующего теодолита. Такие же действия выполняют и на двух остальных его установках. При этом целесообразно в процессе проектирования прибора (центрира) или визирной цели вертикальную нить проектирующего теодолита визировать на левые и правые их края. Если проекция центра знака на редуционную реечку отличается от нуля, то частные линейные элементы приведения следует вычислять по формулам

$$h = h' - c; \quad (3) \quad \gamma = \gamma' - c, \quad (4)$$

где

$$h' = \frac{1}{2}(h_a + h_n), \quad \gamma' = \frac{1}{2}(\gamma_a + \gamma_n), \quad c = \frac{1}{2}(c_a + c_n).$$

На рис. 3 показано проектирование только вертикальной оси основного теодолита (центрира). Здесь  $h_1$  и  $h_1'$  — частные линейные элементы, полученные из первой установки проектирующего теодолита при ориентировании редуционной реечки 3 (см. рис. 1) по направлениям  $M_1$  и  $M_2$ . Элементы  $h_2$  и  $h_2'$ ,  $h_3$  и  $h_3'$  получены из второй и третьей установок проектирующего теодолита при ориентировании редуционной реечки по направлениям  $M_2$  и  $M_3$ ,  $M_3$  и  $M_4$ . Направления  $N_1—N_1$ ,  $N_2—N_2$ ,  $N_3—N_3$  и  $N_4—N_4$  со-

ответствуют положению редукционной реечки при установках на горизонтальном круге ориентирующего теодолита отсчетов  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  и  $M_4$ .

5. На планшете 1 (см. рис. 2) поворачивают линейку 3 до установления на окружности 2 отсчета, равного  $M_1$ . Отложив на шкале 4 элемент  $h_1$  (с учетом его знака), получают на планшете точку  $J_1$ . Таким же образом устанавливают на окружности 2 отсчет, равный  $M_2$ , и по шкале 4 откладывают элемент  $h_1'$  и получают на планшете точку  $J_1'$ . Прочертив через точки  $J_1$  и  $J_1'$  линию, получают след проектирующей плоскости, соответствующий первой установке проектирующего теодолита. Выполнив аналогичные построения для второй и третьей установок проектирующего теодолита, получают следы соответствующих плоскостей. С помощью шкалы 3 (см. рис. 2) измеряют расстояния  $e^i$  до трех вершин треугольника погрешностей, полученного при пересечении следов всех трех проектирующих плоскостей. Среднее из них

$$e = \frac{1}{3}(e' + e'' + e''') \quad (5)$$

принимают за линейный элемент приведения. По направлениям на все вершины треугольника погрешностей  $ABC$  (см. рис. 2) снимают отсчеты  $M$  на окружности планшета. Вычисляют среднее их значение

$$M_e = \frac{1}{3}(M_e' + M_e'' + M_e'''). \quad (6)$$

Угловой элемент приведения вычисляют по формуле

$$\theta = 180^\circ - M_e. \quad (7)$$

Выполняя аналогичные действия по данным визирной цели, получают линейные

$$e_1 = \frac{1}{3}(e_1' + e_1'' + e_1''') \quad (8)$$

и угловые

$$\theta_1 = 180^\circ - M_{e_1} \quad (9)$$

элементы приведения за внецентричность визирной цели. Если же  $\theta$  получаются с отрицательными знаками, то к ним нужно прибавить  $360^\circ$ . Правомерность соотношений (7) и (9) очевидна из рис. 3. Треугольник погрешности на рис. 2 представлен в увеличенном виде. По отклонениям величин  $e^i$ ,  $e_1^i$  и  $M_e^i$ ,  $M_{e_1}^i$  от  $e$ ,  $e_1$ ,  $M_e$  и  $M_{e_1}$  соответственно можно выполнить оценку точности определения линейных и угловых элементов приведения за внецентричную установку основного теодолита и визирной цели.

Если линейные элементы приведения больше и не помещаются на планшете или очень малы, то для удобства графических построений можно применить соответствующие масштабы.

Получив таким образом элементы  $e$  и  $\theta$ , по известным формулам (1) и (2) вычисляют поправки  $c''$  и  $r''$  в соответствующие направления.

Относительно большой диаметр окружности на планшете позволяет откладывать и измерять углы на нем с точностью до 6'

Таблица 1

Результаты полевых измерений по определению элементов приведения

Номер установок проектирующего теодолита	Направления, по которым была ориентирована редукционная рейка, $M_r \dots$	Частные линейные элементы за визирную установку	
		визирной цели $\gamma$ , мм	основного теодолита $h_1$ , мм
1	19	-195	-275,5
	79	-189	-267,5
2	100	+531	+442,5
	160	+502	+416,5
3	258	-347	-248,5
	318	-349	-245

Таблица 2

Результаты камеральной обработки по определению элементов приведения

Номер установок проектирующего теодолита	Значения вспомогательных углов, ...°		Значения линейных элементов приведения	
	$M_e^I$	$M_{e_1}^I$	$e^I$ , мм	$e_1^I$
1	81,1	70,0	465	500
2	81,0	69,9	462	496
3	80,9	69,8	463	497
В среднем	$M_e = 81,0$	$M_{e_1} = 69,9$	$e = 463$	$e_1 = 498$

$$\theta = 180^\circ - M_e = 99,0^\circ$$

$$\theta_1 = 180^\circ - M_{e_1} = 110,1^\circ$$

а миллиметровые деления Т-образной линейки обеспечивают возможность откладывать с малыми погрешностями линейные элементы.

Предлагаемая методика позволяет во всех случаях существенно повысить точность определения угловых элементов приведения путем замены визирной линейки теодолитом, а топографического транспорта — кругом большого диаметра (планшетом). Этот метод удобно использовать для определения элементов приведения на пунктах, расположенных на курганах и других возвышенностях, когда проектирующий прибор располагается ниже центра пункта, в лесных районах и т. п.

Проиллюстрируем изложенное примером. Пусть в процессе определения элементов приведения при двух положениях вертикального круга проектирующего теодолита получены следующие значения (табл. 1). С помощью планшета (см. рис. 2) находят положения проекций вертикальных осей основного теодолита (центра) и визирной цели. В табл. 2 приведены результаты камеральной обработки по определению элементов приведения, полученные с помощью построений на планшете. Тут же вычислены угловые  $\theta$  ( $\theta_1$ ) и линейные  $e$  ( $e_1$ ) элементы приведения. Из данных этой таблицы следует, что в угловых измерениях расхождения не превышают  $0,2^\circ$ , а в линейных элементах они не превышают  $3 \dots 4$  мм. На этом же пункте высотой  $25 \dots 30$  м определены угловые и

линейные элементы приведения графическим способом. Их значения указаны в табл. 3. Откуда следует, что значения линейных элементов, полученных графическим и предлагаемым способом, отличаются на 5...10 мм, а угловые — на 2...2,3". По этим данным вычислены поправки за центрировку и редукцию по четырем направлениям. Значение отклонений их как для центрировки, так и для редукции при  $S=5$  км в среднем составляет 0,2", а по отдельным направлениям они достигают 0,5 и 0,4" соответственно.

Из изложенного следует, что определение элементов приведения за внецентрированную установку основного теодолита и визирной цели с помощью предложенного приспособления по разработанной методике практически во всех случаях повышает точность их определения. Кроме того, возможность удлинять плечи редукционной реечки до нужных размеров позволяет заменить не столь удобные и менее точные известные способы предлагаемым. Этот способ позволяет получить строго проекцию геометрического центра визирной цели и вертикальной оси теодолита (центрира), проектируя на редукционную реечку касание вертикальной нитью проектирующего теодолита с левой и правой сторон. Ограниченные размеры центрировочного листа осложняют решение такой задачи графическим способом. Данные измерений предлагаемым способом обеспечивают возможность получения элементов приведения аналитическим путем, минуя графические построения. Кроме этого, с целью ослабления действия факторов 5) и 6), рассмотренных в начале статьи, рекомендуется изготавливать специальные центриры с уровнями, а визирные цели изготавливать правильной геометрической формы с уменьшением их рельефности за счет ребер централизованным способом.

Таблица 3  
Значения угловых и линейных элементов приведения, полученных различными способами

Элементы приведения	Способы определения элементов приведения	
	графический	предлагаемый
$e$ , мм	453	463
$e_1$ , мм	493	498
$\theta^0$	101,3	99,0
$\theta^1$	112,1	110,1

Список литературы: 1. Ассуров В. Л., Кутузов М. Н. Высшая геодезия. — М.: Недра, 1979. — 397 с. 2. Баканова В. В. Геодезия. — М.: Недра, 1980. — 276 с. 3. Красовский Ф. Н., Данилов В. В. Руководство по высшей геодезии. — М.: Редбюро ГУГК при СНК СССР, 1939, ч. 1, вып. 2. — 409 с. 4. Рабинович Б. Н. Основы построения опорных геодезических сетей. — М.: Геодезиздат, 1954. — 378 с. 5. Судаков С. Г. Основные геодезические сети. — М.: Недра, 1975. — 367 с. 6. Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР. — М.: Недра, 1966. — 340 с. 7. Инструкция по полигонометрии и трилатерации. — М.: Недра, 1976. — 360 с.