

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геотехники и транспортных коммуникаций

# **Методические указания**

**для выполнения расчетно-графических работ**  
**по дисциплине «Инженерная геодезия»**

Брест 2011

УДК 528.4(075.8)

Даны пояснения для выполнения расчетно-графических работ по дисциплине «Инженерная геодезия». Издание предназначено для студентов 1-го и 2-го курсов, изучающих данную дисциплину.

Составители: Н.В. Синякина, к.т.н., доцент  
С.Г. Нагурный, ст. преподаватель

Рецензент: Л.Ф. Зуева, к.т.н., доцент

## РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

### Тема: Вычисление координат точек теодолитного хода и построение плана теодолитной съемки

Теодолитным ходом называется построенный на местности линейно-угловой ход, в котором углы измеряют техническим теодолитом или тахеометром, а стороны – землемерными лентами, электронными рулетками, специальными дальномерами по точности не ниже  $\frac{1}{2000}$ . Теодолитные ходы используют в качестве плановой геодезической основы при топографических съемках, при решении инженерных задач: изысканиях, при проектировании и строительстве железнодорожных и автомобильных магистралей, населенных пунктов, крупных промышленных и гидротехнических сооружений, газопроводов, линий электропередач и других инженерных коммуникаций. В зависимости от назначения точки (вершины) теодолитных ходов закрепляют деревянными колышками, металлическими трубками или специально изготовленными центрами. Горизонтальную съемку местности выполняют с точек и линий теодолитного хода и результаты измерений наносят на абрис. Абрис представляет собой глазомерный чертеж с численными значениями полевых измерений, на котором показывают положение точек и линий теодолитного хода, с которых проводилась съемка объектов, ситуации и контуров. Условными знаками и пояснительными надписями, отображается характеристика строительных объектов, ситуации и растительного покрова.

#### Исходные данные:

1. Даны координаты  $X_1, Y_1$  (начальной-конечной) точки 1 замкнутого теодолитного хода;
2. Дано значение дирекционного угла и  $\alpha_{1-2}$  начальной линии 1-2;
3. Полевые измерения горизонтальных углов  $\beta$  (правых по ходу) и вычисленные горизонтальные проложения линий  $d$  теодолитного хода;

Данные пункта 1- 3 записаны на схеме теодолитного хода рис.1.1.

4. Абрис горизонтальной съемки (рис. 1.2) представляет собой глазомерный чертеж с пояснительными надписями, составленный по полевым измерениям, на котором показывают положение точек и линий теодолитного хода, с которых проводилась съемка объектов.

5. Задан масштаб плана теодолитной съемки (задается преподавателем).

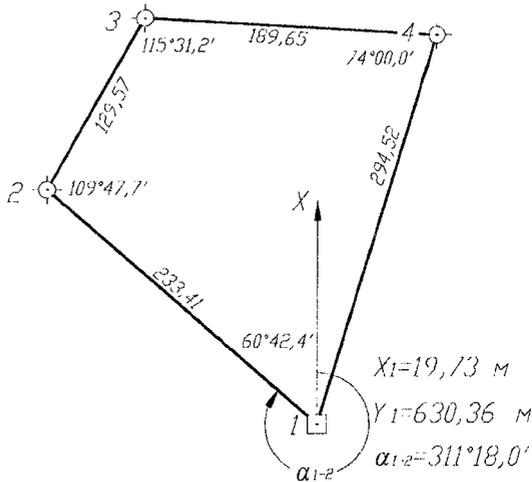


Рисунок 1.1 – Схема теодолитного хода (полевые измерения)

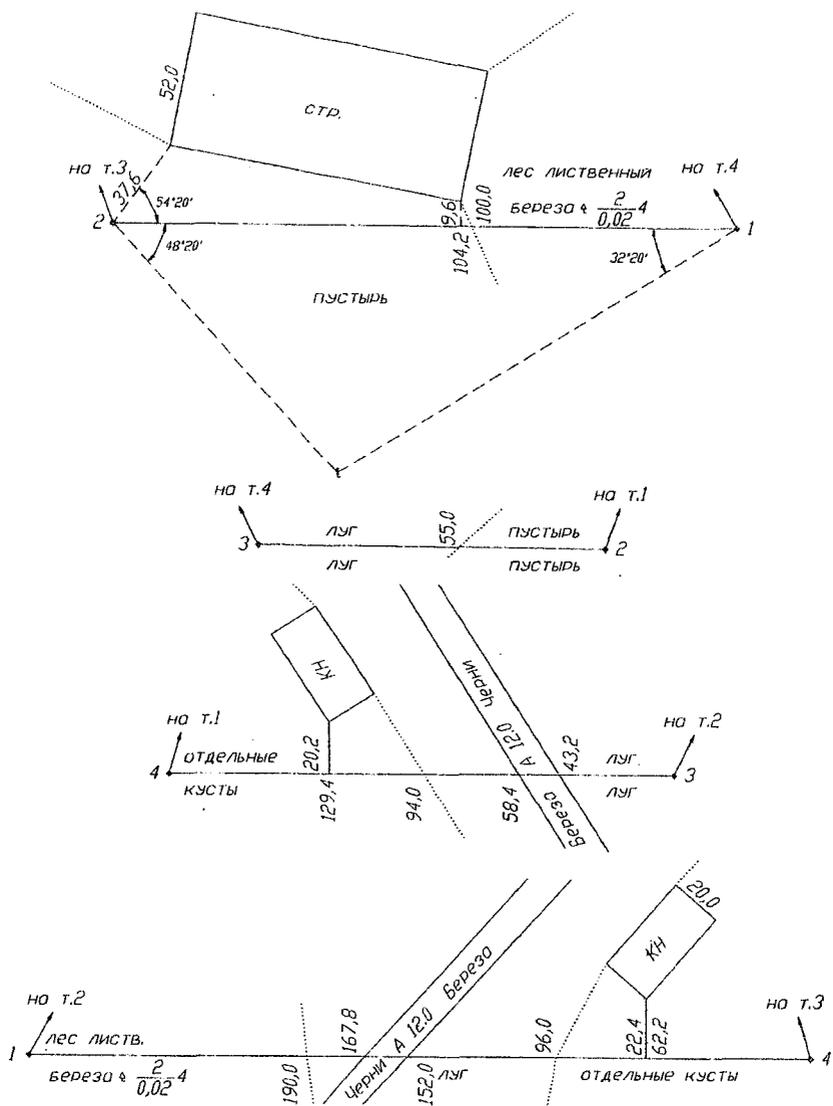


Рисунок 1.2 – Абрис теодолитной съемки

**Задание: 1. Вычислить координаты точек теодолитного хода.**

**Последовательность выполнения работы.**

Все геодезические измерения и вычисления выполняют в таблице установленной формы, которая называется «Ведомость вычисления координат точек теодолитного хода (табл. 1.1). Вычисления ведут в следующем порядке:

**Вписываем в ведомость (табл. 1.1) исходные данные и уравниваем измеренные углы.** В графу 1 вписывают номера точек теодолитного хода, а в графу 2 измеренные горизонтальные углы. Нумерацию точек теодолитного хода обозначаем по ходу часовой стрелки, как показано на рис. 1.1, тогда внутренние измеренные углы будут правые.

Вычисляем практическую сумму измеренных углов  $\Sigma\beta_{изм} = \beta_{1изм} + \beta_{2изм} + \dots + \beta_{nизм}$  и сравниваем ее с теоретической суммой, которая для замкнутого теодолитного хода вычисляется по формуле:

$$\Sigma\beta_T = 180^\circ(n-2), \tag{1.1}$$

где  $n$  – количество углов (точек) теодолитного хода.

Разность между практической и теоретической суммой горизонтальных углов называют угловой невязкой хода

$$f_\beta = \Sigma\beta_{изм} - \Sigma\beta_T, \tag{1.2}$$

которая не должна превышать по абсолютной величине допустимое значение, вычисленное по формуле:

$$f_{\beta доп} = \pm 1' \sqrt{n}. \tag{1.3}$$

Если полученная невязка  $f_\beta$  не превышает  $f_{\beta доп}$ , то  $f_\beta$  распределяют поровну с обратным знаком во все измеренные углы, поправки  $v$  в измеренные углы округляют до  $0,1'$  так, чтобы их сумма была равна невязке  $f_\beta$  с обратным знаком, и вычисляют уравненные углы  $\beta_i^{vp}$

$$v = -\frac{f_\beta}{n}. \tag{1.4}$$

где  $\beta_{изм}$  – измеренный угол:

$$\beta_i^{vp} = \beta_{изм} + v \tag{1.5}$$

уравненные углы записывают в графу 3.

В примере (табл. 1.1) приведены результаты вычислений для замкнутого теодолитного хода с измеренными правыми горизонтальными углами. Для рассматриваемого примера:

$$\Sigma\beta_{изм} = 360^\circ 01,3'; \quad \Sigma\beta_T = 360^\circ 00';$$

$$f_\beta = 360^\circ 01,3' - 360^\circ 01,3' = 1,3'; \quad f_{\beta доп} = \pm 1' \sqrt{4} = \pm 2,0'; \quad 1,3' < 2''; \quad v = -\frac{1,3'}{4} \approx 0,3'.$$

Поправки распределены следующим образом:

В 1-й угол  $\rightarrow -0,4'$ ; 2-й  $\rightarrow -0,3'$ ; 3-й  $\rightarrow -0,3'$ ; 4-й  $\rightarrow -0,3'$ ;

$$\Sigma v = -0,4' - 0,3' - 0,3' - 0,3' = -1,3' = -f_\beta.$$

**Вычисляем дирекционные углы линий теодолитного хода**

$$\alpha_{i-(i+1)} = \alpha_{(i-1)i} + 180^\circ - \beta_i^{vp} (\pm 360^\circ), \tag{1.6}$$

где  $\alpha_{i-(i+1)}$  – дирекционный угол последующей линии;  $\alpha_{(i-1)i}$  – дирекционный угол предыдущей линии;  $\beta_i^{vp}$  – правый уравненный угол, на точке хода, образованный предыдущей и последующей линиями теодолитного хода.

По определению дирекционный угол не может быть меньше  $0^\circ$  и больше  $360^\circ$  ( $0^\circ < \alpha < 360^\circ$ ).

Если результат более  $360^\circ$ , то от него нужно отнять  $360^\circ$ , а если результат получается отрицательным, то к нему нужно прибавить  $360^\circ$ .

Контролем вычисления дирекционных углов является равенство значений вычисленного дирекционного угла и дирекционного угла начальной стороны по исходным данным В приведенном примере (табл. 1.1)

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_2 = 311^\circ 18,0' + 180^\circ - 109^\circ 47,4' = 381^\circ 47,4' = 381^\circ 30,6' - 360^\circ = 21^\circ 30,6'$$

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{1-4} + 180^\circ - \beta_1 = 192^\circ 00,0' + 180^\circ - 60^\circ 42,0' = 311^\circ 18,0'$$

Таблица 1.1 – Ведомость вычисления координат точек теодолитного хода

№ № точек	Измеренные горизонтальн. углы, (поправки) о'	Уравненные горизонтальные углы о'	Дирекционные углы $\alpha$ румбы $\gamma$ о'	Cos $\alpha$ Sin $\alpha$	Горизонтальные проложения d, м	Приращения координат				Координаты точек, м		№ № точек
						вычисленные, м (поправки)		уравненные, м				
						$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta y$	x	y	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
1	-0,4' 60°42,4'	60°42,0'	311°18,0' СЗ:48°42,0	0,751264 -0,660002	233,41	+0,06 +154,05	-0,03 -175,35	+154,11	-175,38	19,73	630,36	1
2	-0,3' 109°47,7'	109°47,4'	21°30,6' СВ:21°30,6'	0,366664 0,930354	129,57	+0,04 +120,55	-0,02 +47,51	+120,59	+47,49	173,84	454,98	2
3	-0,3' 115°31,2'	115°30,9'	85°59,7' СВ:85°59,7'	0,997558 0,069844	189,65	+0,05 +13,25	-0,03 +189,19	+13,30	+189,16	294,43	502,47	3
4	-0,3' 74°00,0'	73°59,7'	192°00,0' ЮЗ:12°00,0'	-0,207912 -0,978148	294,52	+0,08 -288,08	-0,04 -61,23	-288,00	-61,27	307,73	691,63	4
1						-288,08	-61,23	-288,00	-61,27	19,73	630,36	1
						+287,85	+236,70	+288,00	+236,65			
						-288,08	-236,58	-288,00	-236,65			
						-0,23	+0,12	0,00	0,00			

$$\Sigma \beta_{\text{пр}} = 360^{\circ}0,1'3; \quad \Sigma \beta = 360^{\circ}00,0';$$

$$P = \Sigma d = 847,15 \text{ м};$$

$$\Sigma \beta_{\text{т}} = 360^{\circ}00,0';$$

$$f_x = \Sigma \Delta x = -0,23 \text{ м}; \quad f_y = \Sigma \Delta y = +0,12 \text{ м};$$

$$f_{\beta} = +1,3';$$

$$f_{\text{обс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 0,26 \text{ м};$$

$$f_{\text{анн}} = \frac{f_{\text{обс}}}{P} = \frac{0,26 \text{ м}}{847,15 \text{ м}} = \frac{1}{3300} < \frac{1}{2000}.$$

$$f_{\beta \text{ доп}} = 1' \sqrt{n} = \pm 2,0'.$$

**Вычисляем и уравниваем приращения координат.** Приращения координат  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  определяют по формулам прямой геодезической задачи:

$$\Delta X_{\text{ори}} = d \cdot \cos \alpha = d \cdot \cos r; \quad (1.7)$$

$$\Delta Y_{\text{ори}} = d \cdot \sin \alpha = d \cdot \sin r; \quad (1.8)$$

где  $d$  – горизонтальное проложение линии теодолитного хода;  $r$  – румб той же линии.

Знак (+ или –) приращений координат определяют по названию сторон четверти.

Для дальнейших вычислений удобно пользоваться значениями румбов, которые вычисляются через дирекционные углы таблица 1.2.

В рассматриваемом примере румб линии 1-2 вычисляется как

$$r_{1-2} = CЗ: (360^\circ - 311^\circ 18,0') = CЗ: 48^\circ 42,0'.$$

Полученные румбы записывают в графу 4 табл. 1.1.

Вычисленные приращения  $\Delta X_{\text{выч}}$  и  $\Delta Y_{\text{выч}}$  записывают в графы 7 и 8 таблица 1.1, округляя их до 0,01 м.

**Таблица 1.2 – Определение румбов через дирекционные углы и знаков приращения координат**

Название четверти	СВ:	ЮВ:	ЮЗ:	СЗ:
Величина дирекционного угла $\alpha$	$0^\circ < \alpha < 90^\circ$	$90^\circ < \alpha < 180^\circ$	$180^\circ < \alpha < 270^\circ$	$270^\circ < \alpha < 360^\circ$
Числовое значение румба	$r = \alpha$	$r = 180^\circ - \alpha$	$r = \alpha - 180^\circ$	$R = 360^\circ - \alpha$
Знак $\Delta x$	+	–	–	+
Знак $\Delta y$	+	+	–	–

Значения  $\cos r$  и  $\sin r$  находят по таблицам значений тригонометрических функций либо на калькуляторе (до шести знаков после запятой).

В последнем случае необходимо установить на калькуляторе угловую размерность – градусы (DEG). При вычислениях на калькуляторе лучше брать синус и косинус дирекционного угла ( $\cos \alpha$  и  $\sin \alpha$ ).

Первоначально минуты необходимо перевести в десятые доли градуса, а потом вычислить значение тригонометрической функции (например,  $\sin r$ )

$$\text{Например: } \sin(48^\circ 42,0') = \sin(48^\circ + \frac{42,0'}{60}) = \sin(48,700^\circ) = 0,751264.$$

После вычисления приращений координат находят их сумму, т.е.  $\sum \Delta X_{\text{выч}}$  и  $\sum \Delta Y_{\text{выч}}$  и их теоретическую сумму. Для замкнутого хода теоретическая сумма приращений по оси X и Y равна нулю, т.е.  $\sum \Delta x_T = 0,00$ ;  $\sum \Delta y_T = 0,00$ .

**Невязку в приращения координат** замкнутого теодолитного хода определяют по формулам

$$f_X = \sum \Delta X_{\text{ори}}; \quad (1.9)$$

$$f_Y = \sum \Delta Y_{\text{ори}}. \quad (1.10)$$

Далее находят **абсолютную линейную невязку** хода, ее значение всегда положительное

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad (1.11)$$

а затем **относительную невязку** хода

$$f_{\text{отно}} = \frac{f_{\text{абс}}}{P}, \quad (1.12)$$

$$P = \sum d_i, \quad (1.13)$$

где  $P$  – периметр (длина) хода.

Сравнивают относительную невязку хода с допустимой величиной (относительной точностью хода), если выполняется условие  $f_{\text{отно}} \leq \frac{1}{2000}$ , то невязки приращений коор-

динат  $f_x$  и  $f_y$  распределяют пропорционально горизонтальным проложениям линий теодолитного хода.

$$V_{\Delta X_i} = \frac{-f_x \cdot d_i}{P}; \quad V_{\Delta Y_i} = \frac{-f_y \cdot d_i}{P}. \quad (1.14)$$

Поправки округляют до 0,01 м и вносят с обратным знаком невязки в вычисленные приращения координат.

**Вычисляют уравненные приращения координат.** Для этого алгебраически складывают вычисленные приращения с поправками

$$\Delta X_{\text{уп}} = \Delta X_{\text{выч}} + V_{\Delta X}; \quad \Delta Y_{\text{уп}} = \Delta Y_{\text{выч}} + V_{\Delta Y}. \quad (1.15)$$

Сумма уравненных приращений координат равна сумме теоретической, это является контролем уравнивания приращений координат:  $\sum \Delta X_{\text{уп}} = 0,00$ ;  $\sum \Delta Y_{\text{уп}} = 0,00$ .

В примере табл. 1.1 (замкнутый теодолитный ход)

$$\sum \Delta X_{\text{выч}} = -0,23 \text{ м}; \quad \sum \Delta Y_{\text{выч}} = +0,12 \text{ м}.$$

$$f_{\text{ок}} = \sqrt{(-0,23)^2 + (0,12)^2} = 0,26 \text{ м}; \quad f_{\text{оми}} = \frac{0,26}{847,15} = \frac{1}{3258} \approx \frac{1}{3300} < \frac{1}{2000}.$$

Суммы поправок равны невязкам ( $f_x$ ,  $f_y$ ) с обратным знаком, т.е.

$$\sum V_x = +0,06 + 0,04 + 0,05 + 0,08 = +0,23 = -f_x \quad \text{и}$$

$$\sum V_y = -0,03 - 0,02 - 0,03 - 0,04 = -0,12 = -f_y.$$

Уравненные приращения координат  $\Delta X_{\text{уп}}$ ,  $\Delta Y_{\text{уп}}$  по формуле 1.15 записывают в графы 9 и 10 табл. 1.1.

**Вычисляют координаты точек теодолитного хода по формулам**

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_{\text{уп}} \quad (1.16)$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta Y_{\text{уп}} \quad (1.17)$$

где  $X_{i+1}$  и  $X_i$  – абсциссы соответственно последующей и предыдущей точек;

$Y_{i+1}$  и  $Y_i$  – ординаты последующей и предыдущей точек;

$\Delta X_{\text{уп}}$  и  $\Delta Y_{\text{уп}}$  – уравненные приращения между этими точками. Эти данные – в графе

11,12 ведомости вычисления координат точек теодолитного хода табл.1.1.

В рассматриваемом примере:

$$X_2 = X_1 + \Delta X = 19,73 + 154,11 = 173,84 \text{ м}; \quad Y_2 = Y_1 + \Delta Y = 630,36 - 175,38 = 454,98 \text{ м}.$$

Контролем правильности вычисления координат точек теодолитного хода является равенство вычисленных и исходных координат точки 1.

**Задание 2. Построить контурный план по результатам теодолитной съемки в заданном масштабе.**

План теодолитной съемки составляется в масштабе, заданном преподавателем (1:2000 или 1:1000), и выполняется в следующей последовательности.

– **На плотной чертёжной бумаге формата А3** при помощи измерителя и масштабной линейки надо **построить координатную сетку со стороной 10 см**. С помощью длинной линейки проводят диагонали твердым (2Т) карандашом на чертёжном листе. От точки пересечения диагоналей по всем четырём направлениям откладывают равные отрезки (20 см), оставляя зарамочные поля 2-3 см (рис. 1.3). Концы отрезков соединяют прямыми линиями, на сторонах полученного прямоугольника (от нижнего левого угла) откладывают при помощи измерителя и масштабной линейки отрезки длиной 10,00 см. Соединив соответствующие точки на противоположных сторонах прямоугольника, получают сетку квадратов. Контроль правильности построения координатной сетки осуществляют сравнением длин диагоналей квадратов. Расхождения не должны пре-

вышать 0,2 мм. Все вспомогательные линии вначале нужно проводить карандашом тонкими линиями;

– **Выполнить оцифровку координатной сетки**, начиная с нижнего левого угла в соответствии с координатами точек теодолитного хода (табл. 1.1), так чтобы подписи были кратны 100 м для масштаба 1:1000 и 0,2 км для масштаба 1:2000 (рис. 1.3). Здесь следует помнить, что ось  $X$  направлена с юга на север (снизу вверх), а ось  $Y$  – с запада на восток (слева направо).

– **Нанести по координатам точки теодолитного хода**.

Точки хода наносят на план по координатам (табл. 1. графа 11, 12) с помощью измерителя и масштабной линейки. На образце рис. 1.3. подписи координатной сетки соответствуют масштабу 1:2000 и координатам точек табл. 1.1.

При нанесении точек теодолитного хода находят квадрат, в котором должна располагаться данная точка, например, точка 2 теодолитного хода с координатами  $X_2 = 173,84$  м и  $Y_2 = 454,98$  м. От точек пересечения координатной сетки по сторонам квадрата откладываем отрезки по оси  $X$  значение 173,84 м, а по оси  $Y$  – 54,98. Таким образом, наносим точку 2, как показано на рис 1.3. Каждую точку накальвают и обводят кружком диаметром 1,5 мм. Аналогично выполняют построение всех других точек теодолитного хода (съёмочного обоснования). Правильность нанесения точек теодолитного хода контролируют измерением расстояний между ними, сравнивая со значениями в графе 6. Расхождения не должны быть более 0,2 мм на плане.

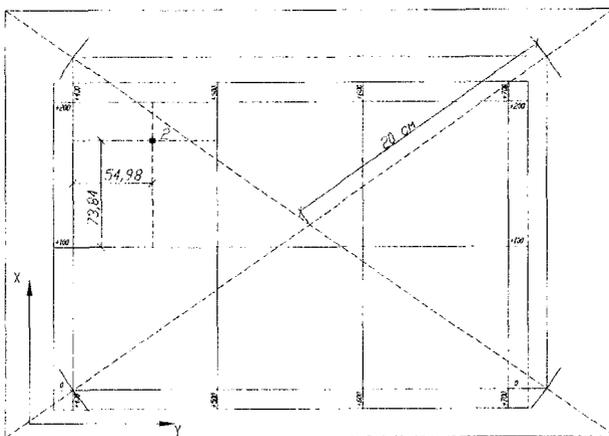


Рисунок 1.3 – Построение координатной сетки для плана масштаба 1:1000

– **Используя абрис (рис. 1.2), построить контурный план местности (рис. 1.4)**. Ситуация, предметы и контуры местности на план наносятся таким же способом, каким производилась теодолитная съёмка (см. абрис). При этом углы наносятся геодезическим транспортиром, а значения линейных элементов берутся по масштабной линейке и откладываются измерителем. Первоначально план выполняется в карандаше, а затем после корректуры вычерчивается строго в соответствии с условными знаками, соблюдая их размеры и цвет.

– **Сброшюровать расчетно-графическую работу и оформить титульным листом** в соответствии с выполненным заданием (исходные данные, ведомость вычисления координат точек теодолитного хода, план теодолитной съёмки).

## КОНТУРНЫЙ ПЛАН МЕСТНОСТИ

Система координат условная

Название площадки

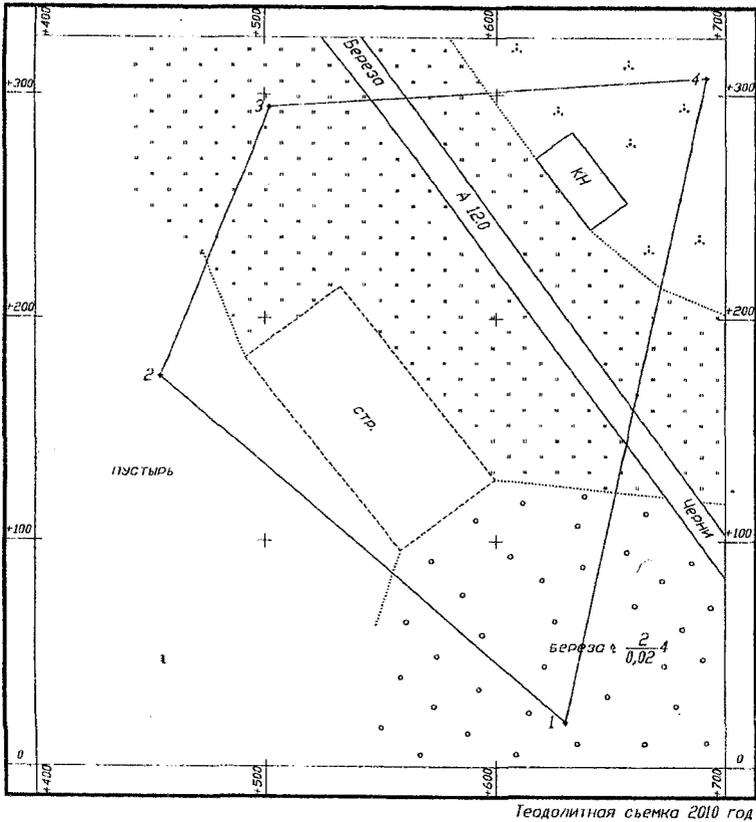


Рисунок 1.4 – План теодолитной съемки

## РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Тема: Подготовка геодезических данных для выноса на местность оси запроектированного сооружения

Вынесением проекта сооружения на местность называют геодезические работы, которые выполняются для закрепления на местности точек осей, определяющих местоположение всего сооружения, а также его частей и элементов. Разбивочные работы (разбивка) – вид геодезических построений для определения на местности положения характерных точек и осей запроектированного сооружения в плане и по высоте.

Разбивка выполняется в соответствии с генеральным планом и рабочими чертежами сооружения и должна обеспечить полное соответствие проектируемого сооружения на местности.

На первом этапе на местность выносят оси сооружения- главные (оси симметрии) и основные (определяющие форму сооружения).

Точность этого вида разбивочных работ зависит от способа проектирования объекта и ошибок способа выноса при геодезической подготовке выноса проекта и, если проект не связан с существующими сооружениями, может соответствовать графической точности, равной 0,1 мм, взятой в масштабе генплана.

Вторым этапом разбивки сооружения является его детальная разбивка. От закрепленных на местности главных и основных осей выносят оси отдельных частей сооружения и разбивают положение элементов конструкций.

Точность  $m_p$  разбивочных работ на втором этапе обычно определяют по формуле  $m_p = \delta/3$ , где  $\delta$  – допустимое отклонение от проекта согласно строительным нормам и правилам (СНиП) или техническим условиям. В особых случаях при строительстве уникальных и сложных сооружений устанавливают более высокую точность геодезических работ  $m_p = \delta/6 + \delta/10$ .

В комплекс геодезических работ, обеспечивающих вынесение проекта в натуру, входят: создание – геодезической разбивочной основы, геодезическая подготовка данных для разбивочных работ, разбивочные работы. Съёмочное обоснование в виде теодолитных ходов также может служить геодезической основой при выносе на местность проектов инженерных сооружений.

Перенос проекта в натуру выполняется по разбивочному чертежу, на котором показаны все необходимые геодезические данные (разбивочные элементы – горизонтальные углы, расстояния).

Если специального разбивочного чертежа в проекте нет, то он должен быть составлен по данным генплана и рабочих чертежей. Составление разбивочного чертежа должно осуществляться, как правило, на основе аналитического или графоаналитического расчета.

Исходной плановой разбивочной основой в данной работе служит теодолитный ход и план теодолитной съемки из предыдущей расчетно-графической работы.

#### Способы разбивочных работ.

Основными способами разбивки сооружений являются: способ полярных координат, способ прямой угловой засечки, способ прямоугольных координат, способ линейной засечки и способ створной засечки.

Выбор того или иного способа зависит от расположения разбивочной основы, от формы и размеров объекта строительства, от возможности угловых и линейных измерений и т.д.

**Способ полярных координат** применяется, если сооружение находится вблизи геодезической разбивочной сети и окружающая его местность удобна для производства линейных измерений.



Рисунок 2.1 – Способ полярных координат

П – проектная точка.

Положение точки П на местности определяют, установив на т.1 теодолит и отложив от направления 1 - 2 угол  $\beta$ , а от пункта 1 расстояние  $d_{1-n}$  (рис. 2.1). Разбивочными элементами для данного способа являются угол  $\beta$  и расстояние  $d_{1-n}$ .

**Способ прямой угловой засечки** применяют для вынесения проектного сооружения, расположенного на значительном расстоянии от разбивочной сети, либо на местности

существуют препятствия линейным измерениям. Разбивочные углы засечки  $\beta$  должны быть больше  $20^\circ$ . Разбивочные углы  $\beta_2$   $\beta_3$  (рис. 2.2.) поочередно откладывают теодолитом от исходной линии 2-3. Пересечение направлений 2-П и 3-П определит на местности положение точки П.

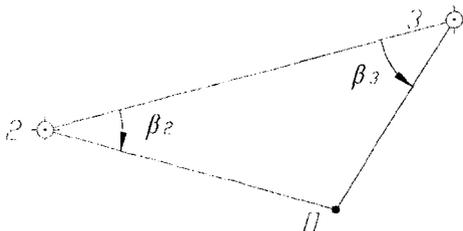


Рисунок 2.2 – Способ прямой угловой засечки

**Исходные данные:**

1. План теодолитной съемки из работы № 1, где нанесена проектная ось сооружения, две проектные точки А–В рис. 2.3.
2. Ведомость вычисления координат точек теодолитного хода табл. 1.1.

**Задание:** Выполнить графоаналитическую подготовку геодезических данных для выноса оси запроектированного сооружения А–В.

1. Определить графически координаты проектных точек А и В. Составить схему выноса на местность проектной оси сооружения, (проектные точки А и В) полярным способом и способом прямой угловой засечки.
2. Выполнить расчет разбивочных элементов углов  $\beta$  и расстояний  $d$ .
3. Составить разбивочный чертеж в заданном масштабе.

**Порядок выполнения работы.**

**Определяем графически по топографическому плану (рис. 2.3.) координаты** проектных точек А и В. Для получения координат проектных точек с необходимой точностью, их определяют с помощью измерителя и масштабной линейки по топографическому плану.

В приведенном образце (рис. 2.3.) координаты проектных точек следующие:

$$X_A = 90,20 \text{ м}; \quad Y_A = 607,16 \text{ м}; \quad X_B = 68,64 \text{ м}; \quad Y_B = 483,33 \text{ м}.$$

**Самостоятельно выбрать линию теодолитного хода** для выноса проектной точки А полярным способом и линию теодолитного хода в способе угловой засечки – для проектной В. При этом полярные расстояния по возможности должны быть небольшими и на местности в этом направлении не должно быть препятствий для измерений. **Составляем вспомогательный чертеж**, поясняющий схему определения разбивочных элементов (углов и расстояний) полярным способом и способом угловой засечки от линий теодолитного хода рис. 2.3.

Например: От линии теодолитного хода 1-2 положение проектных точек А и В по полярному способу представили через углы  $\beta_A$  и  $\beta_B$ , которые вычисляются через дирекционные углы линий 1-2, 1-В, 2-А, 2-1 и расстояния  $d_{1,1}$ ,  $d_{2,1}$  (рис. 2.4).

Согласно рис. 2.4. **записываем формулы для вычисления разбивочных углов** полярным способом

$$\begin{aligned} \beta_A &= \alpha_{1,1} - \alpha_{1,2} \\ \beta_B &= \alpha_{2,1} - \alpha_{2,1} \end{aligned} \quad (2.1)$$

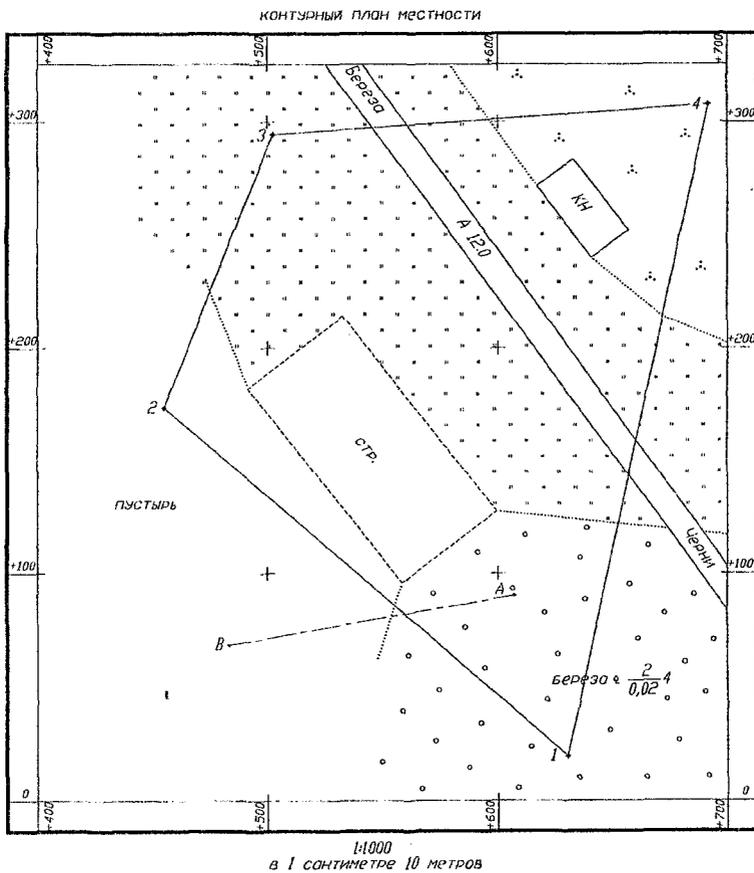


Рисунок 2.3 – План теодолитной съемки с указанной на нем проектной осью АВ

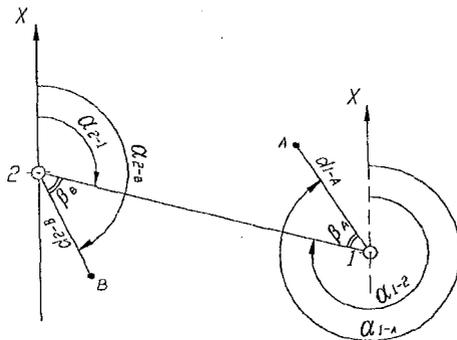


Рисунок 2.4 – Вспомогательный чертёж

Необходимые данные для вычисления разбивочных углов  $\beta$  выбирают из ведомости вычисления координат точек теодолитного хода (табл. 1.1.):

–  $\alpha_{1-2} = 311^\circ 18,0'$ , а также вычисляют обратный дирекционный угол  $\alpha_{2-1} = 131^\circ 18,0'$ ;

– координаты точек теодолитного хода 1 и 2

$X_1 = 19,73$  м  $Y_1 = 630,36$  м

$X_2 = 173,84$  м  $Y_2 = 454,98$  м

По формулам обратной геодезической задачи вычисляем дирекционные углы и расстояния для направления от точки теодолитного хода (Т) до проектной точки (П). Для этого сначала необходимо вычислить приращения координат между этими точками

$$\Delta X_{Т-П} = X_P - X_T, \quad \Delta Y_{Т-П} = Y_P - Y_T, \quad (2.2)$$

а затем угловые  $r_{Т-П}$  и линейные  $d_{Т-П}$  элементы

$$\operatorname{igr}_{Т-П} = \frac{\Delta Y_{Т-П}}{\Delta X_{Т-П}}, \quad r_{Т-П} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta Y_{Т-П}}{\Delta X_{Т-П}}, \quad (2.3)$$

$$d_{Т-П} = \frac{\Delta X_{Т-П}}{\cos r_{Т-П}}, \quad d_{Т-П} = \frac{\Delta Y_{Т-П}}{\sin r_{Т-П}}. \quad (2.4)$$

Правильность вычисления значения румба контролируется по формуле 2.4, расхождение найденного расстояния  $d_{Т-П}$  через  $\cos r_{Т-П}$  и  $\sin r_{Т-П}$  не должно быть более 0,03 м.

Определить направление (четверть) румба можно по знакам приращений координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ . По румбам находят дирекционный угол направления Т-П (см. табл. 1.2)

Вычисления обратной геодезической задачи рекомендуется выполнять на калькуляторе или с использованием таблиц тригонометрических функций. Значения  $\operatorname{igr}$ ,  $\sin r$ ,  $\cos r$  должны быть определены не менее 6-ти знаками после запятой. Результаты решения обратных геодезических задач оформить в табл. 2.1.

**Таблица 2.1 – Расчет данных для разбивочных элементов**

№ п.п.	Формулы и обозначения	Направления Т-П	
		1-А	2-Б
1	$Y_P$	607,16	483,33
2	$Y_T$	630,36	454,98
3	$\Delta Y_{Т-П} = Y_P - Y_T$	-23,20	+28,35
4	$X_P$	90,20	68,64
5	$X_T$	19,73	173,84
6	$\Delta X_{Т-П} = X_P - X_T$	+70,47	-105,20
7	$\operatorname{igr}_{Т-П} = \frac{\Delta Y_{Т-П}}{\Delta X_{Т-П}}$	-0,329218	-0,269487
8		$СЗ: 18^\circ 13', 3$	ЮВ: $15^\circ 04', 9$
9	$r_{Т-П} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta Y_{Т-П}}{\Delta X_{Т-П}}; \alpha_{Т-П}$	$341^\circ 46', 7$	$164^\circ 55', 1$
10	$\sin r_{Т-П}$	0,312694	0,260196
11	$\cos r_{Т-П}$	0,949854	0,965556
12	$d_{Т-П} = \frac{\Delta Y_{Т-П}}{\sin r}$	74,20	108,96
13	$d_{Т-П} = \frac{\Delta X_{Т-П}}{\cos r}$	74,19	108,95

\* **Примечание:** В графе «Формулы и обозначения» обозначение Т – соответствует номеру теодолитной точки линии Т-П, обозначение П – проектная (выносимая) точка линии Т-П.

По дирекционным углам направлений вычисляют разбивочные углы  $\beta$  (рис. 2.4).

Для вычисления значений разбивочных углов воспользуемся формулами 2.1. и значениями дирекционных углов таблицы 2.1 и таблицы 1.1.

$$\beta_A = 341^\circ 46,7' - 311^\circ 18,0' = 30^\circ 28,7' \quad \beta_B = 164^\circ 55,1' - 131^\circ 18,0' = 33^\circ 37,1'$$

**Составляем разбивочный чертеж в заданном масштабе** так, чтобы весь числовой и графический материал читался без затруднений. На чертеже показывают линии теодолитного хода, от которых выносились проектные точки А и В и выписывают числовые значения разбивочных элементов. Для ориентирования разбивочного чертежа на местности при его составлении указывается направление север-юг. На разбивочном чертеже должны быть подписи лиц, составивших и проверивших чертеж.

Координаты точек разбивочной основы (теодолитного хода) и координаты проектных точек также могут быть представлены на разбивочном чертеже иногда в виде отдельной таблицы.

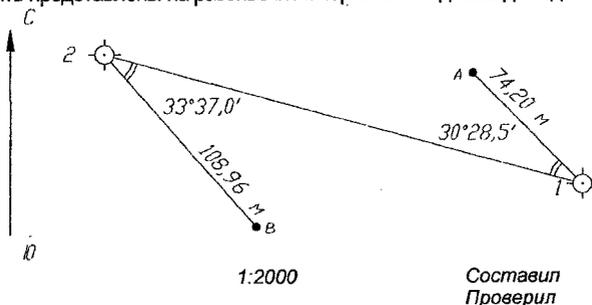


Рисунок 2.5 – Разбивочный чертеж

### РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

#### Тема: Тахеометрическая съемка

##### Общие сведения и сущность тахеометрической съемки

Тахеометрическая съемка – наземная топографическая съемка, выполняемая при помощи тахеометра (теодолита с вертикальным угломерным кругом), при этом плановые координаты точек местности определяются относительно пунктов съемочного обоснования полярным способом, а отметки – тригонометрическим нивелированием. Тахеометрическая съемка производится с целью получения топографических планов крупных масштабов (1:500, 1:1000, 1:2000) для инженерных изысканий под строительство, планировку и благоустройство населенных пунктов. Она эффективно используется при реконструкции, проектировании и строительстве каналов, дорог, аэродромов, линий электропередач и др.

В качестве съемочного обоснования для тахеометрической съемки берутся пункты местности, координаты которых определены из проложения теодолитного или тахеометрического хода, а отметки – из геометрического нивелирования технической точности. Все измерения выполняются при одном положении круга теодолита – круге лево. Плановое положение точки местности определяют полярным способом по измеренному наклонному расстоянию (нитяным дальномером)  $D$  и отсчету по горизонтальному кругу  $ГК$  при ориентированном лимбе.

В полярном способе горизонтальное проложение  $d$  равно полярному расстоянию, а горизонтальный угол – полярному углу  $\beta$ .

Превышение вычисляют по углу наклона  $v$  и расстоянию  $D$  из тригонометрического нивелирования (рис. 3.1). Угол наклона вычисляют через отсчет по вертикальному кругу (КЛ) и известное значение место нуля МО по формуле  $v = КЛ - МО$ .

Известно из тригонометрического нивелирования, что значение отметки реечной точки  $H$  вычисляют по формуле:

$$H = H_{ст} + h, \quad (3.1)$$

где  $H_{ст}$  – отметка станции (точки съемочного обоснования);

$h$  – превышение, которое определяется по формуле:

$$h = h' + i - V \quad (3.2)$$

$$h' = \frac{1}{2} D \cdot \sin 2v, \quad (3.3)$$

$$d = D \cdot \cos^2 v, \quad (3.4)$$

здесь  $h'$  – неполное превышение,  $i$  – высота инструмента;  $V$  – высота визирования.

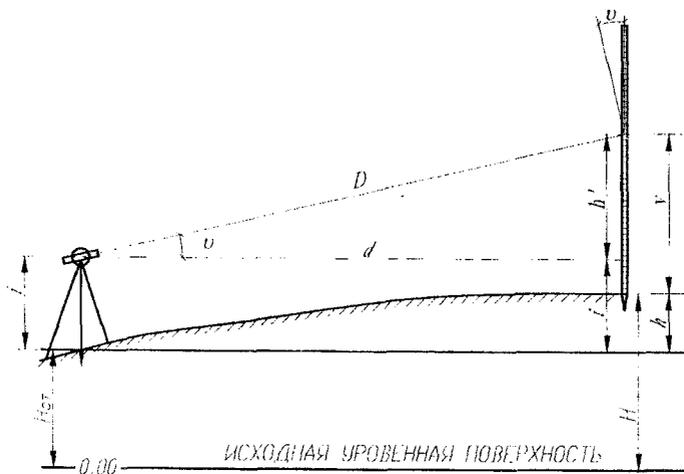


Рисунок 3.1 – Схема тригонометрического нивелирования

#### Исходные данные:

1. Задан масштаб тахеометрической съемки участка местности;
2. Известны отметка станции  $H_{ст}$ , ее плановое положение (условные координаты  $X_{ст}$ ,  $Y_{ст}$ ) и ориентирное направление при съемке.
3. Журнал тахеометрической съемки (полевые измерения);
4. Абрис – глазомерный чертёж, на который нанесены: станция съемки, ориентирное направление, элементы ситуации, растительный покров, формы рельефа, стрелками показывают линии равномерных скатов. На абрисе отражено расположение реечных точек относительно станции съемки.

#### Задание:

1. Выполнить обработку журнала тахеометрической съемки;
2. Построить фрагмент плана тахеометрической съемки в заданном масштабе с высотой сечения рельефа (по индивидуальному заданию).

### Порядок выполнения работы.

#### Камеральная обработка журнала тахеометрической съемки

Вычисления в журнале тахеометрической съемки (табл. 3.1) начинают с повторной проверки места нуля (МО) по формуле 3.1 для теодолита 2Т30.

$$MO = \frac{KL + KI}{2} \quad (3.5)$$

Далее последовательно вычисляют вертикальные углы  $\nu$  и записывают их в графу 6 (табл. 3.1). Так как вертикальные углы измерялись при одном положении круга (КЛ), то

$$\nu = KL - MO \quad (3.6)$$

В примере (табл. 3.1) для речной точки 1 вертикальный угол  $\nu = -0^{\circ}33' - (-0^{\circ}01') = -0^{\circ}32'$ . Далее вычисляют горизонтальные проложения  $d$  по формуле 3.4 и результат записывают в графу 7.

В случае если  $|\nu| < 1,5^{\circ}$ , то можно принять  $d \approx D$ .

Превышение вычисляют, используя формулы 3.2 и 3.3

На практике удобно формулу 3.2 разделить на две части  $h' = \frac{1}{2} D \cdot \sin 2\nu$  и  $(i - V)$ .

Неполное превышение  $h'$  – можно вычислить, либо найти из специальных тахеометрических таблиц. Значение  $h'$  имеет знак угла наклона  $\nu$ . Это значение заносим в графу 8.

Для речной точки 1  $h' = \frac{1}{2} \cdot 23,5 \cdot \sin(2 \cdot (-0^{\circ}32')) = -0,22$  м.

Отдельно вычисляем разность  $(i - V)$ , которую записывают в графу 9.

Для речной точки 1  $i - V = 1,43 - 2,50 = -1,05$  м;

Для речной точки 6  $i - V = 1,43 - 3,00 = -1,57$  м.

После вычисления  $h'$  и  $i - V$  находят превышение между станцией, с которой производилась съемка, и речной точкой по формуле 3.2 (для этого алгебраически складывают данные граф 8 и 9 и записывают их в графу 10).

В примере для речной точки 1  $h = h' = -0,22$  м;

Для речной точки 6  $h = 10,63 - 1,57 = 9,06$  м;

Вычисляют отметку речной точки по формуле 3.1: и записывают в графу 11.

Для речной точки 1  $H_1 = 108,35 - 0,22 = 108,13$  м

Для речной точки 6  $H_6 = 108,35 + 9,06 = 117,41$  м.

#### Составление плана тахеометрической съемки.

План тахеометрической съемки строится на листе бумаги формата А4 или А3.

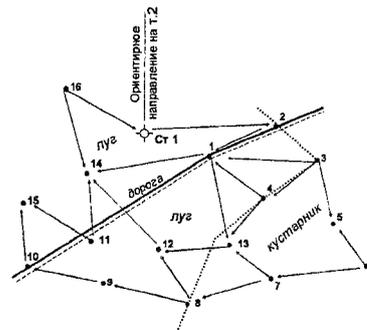
В данном задании съемка выполнена с одной станции 1.

Исходные данные для построения плана являются абрис, отсчеты по горизонтальному кругу (графа 4), горизонтальные проложения (графа 7) и вычисленные отметки речных точек (графа 11) табл. 3.1.

На листе бумаги произвольно нанести станцию, с которой производилась съемка, и направление, на которое ориентирован ноль лимба горизонтального круга (в нашем примере точки 1 и 2). От полученного направления (1-2) по ходу часовой стрелки отложить по транспортиру или тахеографу отсчет по горизонтальному кругу (графа 4) и при помощи измерителя и масштабной линейки – горизонтальное проложение (графа 7) – таким образом, на плане получаем речную точку и подписываем ее отметку (графа 11). При высоте сечения рельефа 0,5 м отметки на план выписываются до 0,01 м, а при высоте сечения рельефа 1 м и более отметки записываются до 0,1 м. Последовательно, вышеописанным способом, наносим все речные точки. Характерные точки ситуации оформляются в соответствии с условными знаками (рис. 1.4).

Таблица 3.1 – Журнал тахеометрической съемки

Станция 1 Высота инструмента $i = 1,43$ м. Отметка станции $H_{ст} = 108,35$ м Отсчеты по вертикальному кругу $K_1 = 2'06''$ $K_2 = -2'08''$ $M_0 = -0'01''$													
Ориентировано на т.2 Дата _____													
№№ реальных точек (визирован.)	Дальнейшее расстояние D	Высота наведения u	Отсчеты				Угол наклона $v = BK-MO$	Гориз. проложение $d = D \cdot \cos^2 v$	$H' = 1/2 D \cdot \sin 2v$	$i - u$	$h = H' + u$	Отметка $H_{пр.} = H_{ст} + h$	Абрис (кроки)
			Горизонтальный круг ГК	Вертикальный круг ВК									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1	23,5	1,43	92°15'	-0°33'	-0°32'	23,5	-0,22	0,00	-0,22	108,13			
2	56,0	1,43	83°47'	4°06'	4°07'	55,7	+4,01	0,00	+4,01	112,36			
3	50,3	1,43	90°53'	5°42'	5°43'	49,8	+4,99	0,00	+4,99	113,3			
4	42,7	1,43	96°54'	5°29'	5°30'	42,3	+4,07	0,00	+4,07	112,42			
5	58,7	1,43	106°49'	3°58'	3°59'	58,4	+4,07	0,00	+4,07	112,42			
6	77,0	3,00	114°07'	5°20'	5°21'	76,3	+7,15	-1,57	+5,28	113,93			
7	59,4	3,00	153°12'	5°54'	5°55'	58,8	+6,09	-1,57	+4,52	112,87			
8	47,5	1,43	171°45'	4°07'	4°08'	47,3	+3,41	0,00	+3,41	111,76			
9	45,8	1,43	185°24'	1°29'	1°30'	45,8	+1,20	0,00	+1,20	109,55			
10	48,8	1,43	217°15'	-0°52'	-0°51'	48,8	-0,72	0,00	-0,72	107,63			
11	32,5	1,43	208°51'	-2°12'	-2°11'	32,5	-1,24	0,00	-1,24	107,11			
12	26,9	1,43	182°10'	-3°22'	-3°21'	26,8	-1,57	0,00	-1,57	106,78			
13	39,6	1,43	135°40'	-1°45'	-1°44'	39,6	-1,20	0,00	-1,20	107,15			
14	17,4	1,43	216°56'	-13°08'	-13°08'	16,5	-3,85	0,00	-3,85	104,50			
15	35,3	1,43	240°25'	-6°38'	-6°37'	34,8	-4,05	0,00	-4,05	104,30			
16	14,9	1,43	280°08'	-7°17'	-7°16'	14,7	-1,87	0,00	-1,87	106,48			
на точку 2			0°02'	Замыкание горизонта на станции съемки									



После нанесения речечных точек приступают к рисовке рельефа горизонталями. Для этого выполняют процесс, называемый интерполяцией, т.е. нахождение положения горизонталей между речечными точками с известными отметками. *Отметки горизонталей должны быть кратны высоте сечения рельефа.*

Интерполяцию можно выполнять аналитическим или графическим способами.

**Аналитическую** интерполяцию можно выполнить при помощи калькулятора.

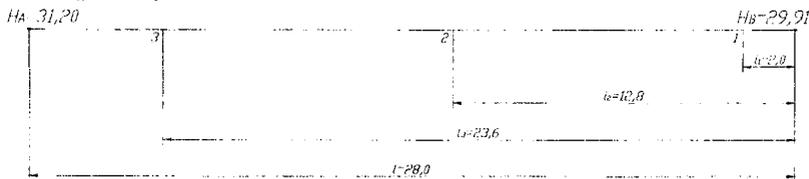
Например, необходимо найти положение горизонталей между точками А и В если отметки точек равны  $H_A = 31,20$ ;  $H_B = 29,91$ . Между этими точками, очевидно, пройдут горизонтали, кратные высоте сечения рельефа  $h = 0,5$  м с отметками  $H_1 = 30,00$ ;  $H_2 = 30,50$ ;  $H_3 = 31,00$ . Расстояние между точками АВ на плане равно 28 мм (рис. 3.2), а превышение между ними  $h = H_A - H_B = 31,20 - 29,91 = 1,29$  м. Следовательно, расстояние до горизонталей от точки В по направлению к точке А составит (рис. 3.2).

$$l_1 = \frac{AB}{h} (H_1 - H_B) = \frac{28}{1,29} (30,00 - 29,91) = 21,70 \cdot 0,09 = 2,0 \text{ мм}$$

$$l_2 = \frac{AB}{h} (H_2 - H_B) = 21,70 (30,50 - 29,91) = 21,70 \cdot 0,59 = 12,8 \text{ мм}$$

$$l_3 = \frac{AB}{h} (H_3 - H_B) = 21,70 (31,00 - 29,91) = 21,70 \cdot 1,09 = 23,6 \text{ мм}$$

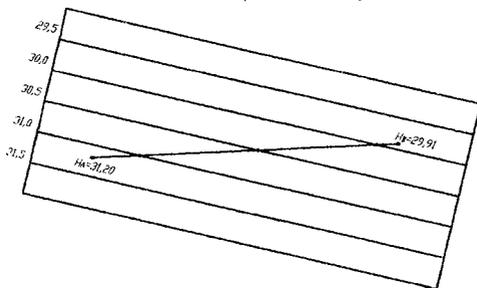
Полученные расстояния при помощи миллиметровой шкалы откладывают по направлению ВА (рис. 3.2).



**Рисунок 3.2 – Аналитическая интерполяция**

**Графическую интерполяцию** можно выполнить при помощи палетки. Палетка – это ряд параллельных линий, нанесенных на прозрачной основе (кальке) через **равные** расстояния (от 5-10 мм). Каждая линия на палетке условно обозначается отметками, кратными высоте сечения рельефа, в нашем примере через 0,5 м.

Палетку накладывают на линию плана, например АВ, и поворачивают ее так, чтобы точки с известными отметками заняли положение, соответствующее их числовым значениям (рис. 3.3). Затем точки пересечения линии АВ с линиями, условно имеющими отметки горизонталей, накалывают на план (в нашем случае 30,0; 30,5; 31,0).



**Рисунок 3.3 – Графическая интерполяция**

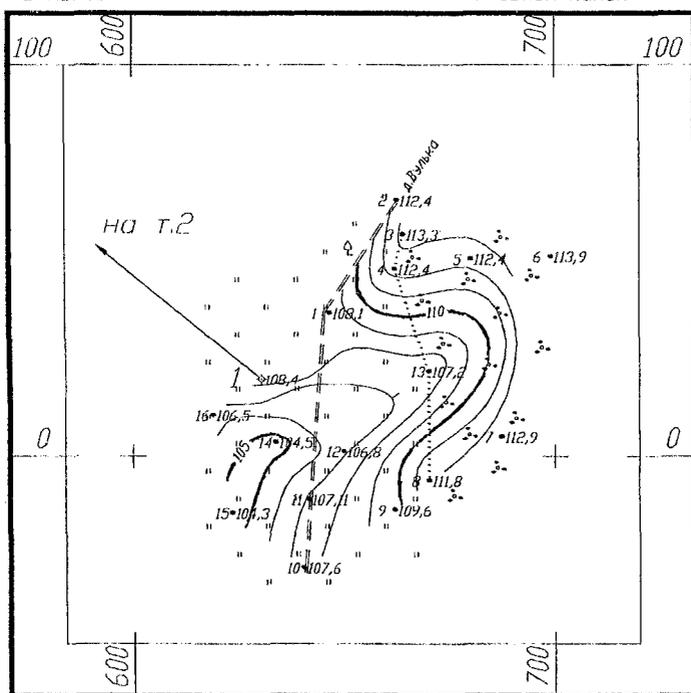
### Оформление плана

Оформление фрагмента плана (рис. 3.4) начинают с вычерчивания по условным знакам объектов ситуации и растительного покрова, тщательно выдерживая их размеры. Перед вычерчиванием горизонталей их «укладывают» так, чтобы они были плавными линиями, а на равномерных склонах расстояния между горизонталями было одинаково. Горизонтали проводят четкой линией толщиной 0,1 мм. Горизонтали, кратные четырем сечениям рельефа (при высоте сечения 0,5), утолщают в 3 раза до 0,3 мм (при высоте сечения рельефа 1 м утолщается каждая 5-я горизонталь), и подписывают их отметки в разрывах горизонталей. При этом верх цифр должен быть обращен в сторону повышения рельефа. Все подписи отметок реечных точек и точек съемочного обоснования должны быть ориентированы верхом на север. Составленный план по результатам тахеометрической съемки оконтурить внутренней прямоугольной рамкой (толщиной 0,1 мм).

### Топографический план

Система координат местная  
РВ г.Брест

Участок работ  
Гребной канал



1:1000

В 1 сантиметре 10 метров

Сплошные горизонтали проведены через 1 метр

Система высот Балтийская

Исполнитель ВЛТУ

Тахеометрическая съемка 2010г.  
(Вид съемки, год)

Рисунок 3.4 – Пример оформления топографического плана

## РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

### Тема: Обработка результатов полевого трассирования автодороги и построение продольного и поперечного профилей

**Трассирование** – это комплекс инженерно-геодезических работ по проложению, разбивке и закреплению трассы линейного сооружения, отвечающей техническим условиям строительства и обеспечивающей наибольший экономический эффект от последующей эксплуатации сооружения при наименьших потерях ценных сельскохозяйственных земель и возможно меньших отрицательных воздействиях на экологию местности.

Инженерно-геодезические изыскания автодороги заключаются в определении расположения ее оси на местности в плановом и высотном положении. Трассой называется ось линейного сооружения. Место расположения трассы характеризуется ее планом – проекцией на горизонтальную плоскость и ее продольным профилем – вертикальным разрезом.

Вынос трассы осуществляется по пикетам. Пикетаж – система закрепления и обозначения на местности точек трассы (пикетов). Горизонтальное проложение между соседними пикетами равно 100 метров. Также по трассе отмечают плюсовые (промежуточные) точки – перегибы рельефа, границы угодий, пересечения с действующими коммуникациями. Плановое положение трассы определяется направлением (румбов), длиной прямолинейных участков и криволинейных в углах поворота, высотное – определением отметок всех точек на трассе, по результатам технического нивелирования.

Дорожные трассы состоят из прямолинейных и криволинейных участков, как в плане, так и в профиле. В плане прямолинейные участки трассы сопрягаются кривыми линиями постоянного или переменного радиуса  $R$ , точки  $НК$  и  $КК$  представляют начало и конец криволинейного участка. *Угол поворота трассы* – это горизонтальный угол  $\varphi$ , образованный продолжением предыдущего направления и последующим направлением. Угол поворота  $\varphi$  называется правым, если от предыдущего направления трасса повернула вправо и наоборот.

При проектировании трассы выполняют определенные требования, которые устанавливают в соответствии с техническими условиями, для автодорог основными требованиями являются плавность и безопасность движения с расчетными скоростями. В продольном проектном профиле автодорога состоит из линий различного уклона, но не превышающих предельного значения для заданной категории дороги.

#### **Исходные данные:**

- 1) отметки начального и конечного реперов;
- 2) пикетажный журнал и параметры круговой кривой;
- 3) схема нивелирования трассы и журнал технического нивелирования;
- 4) технические условия для проектирования продольного профиля трассы.

#### **Задание**

1. Рассчитать элементы круговой кривой и вычислить пикетажные значения главных точек кривой.
2. Выполнить камеральную обработку журнала технического нивелирования по трассе.
3. Построить продольный и поперечный профили.

**Расчет элементов круговой кривой и вычисление пикетажных значений главных точек.** Часть оси трассы, очерченной по дуге постоянного радиуса, называется

ся *круговой кривой*. Ее угол поворота  $\varphi$  и радиус  $R$  (рис. 4.1) служат исходными данными для вычисления остальных элементов. Точки на трассе *НК*, *СК* и *КК*- главные точки круговой кривой.

Основные элементы круговой кривой (рис.4.1):

тангенс *T*; кривая *K*; биссектриса *Б*; домер *Д*.

Значения основных элементов круговой кривой вычисляются по формулам (4.1),

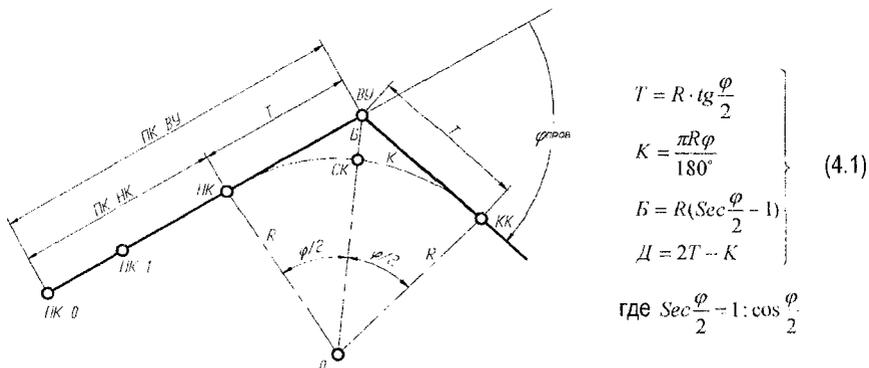


Рисунок 4.1 – Элементы и главные точки круговой кривой

Расчет пикетажных значений главных точек кривой выполняют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \text{ПК НК} &= \text{ПК ВУ} + T \\ \text{ПК КК} &= \text{ПК НК} + K \\ \text{ПК СК} &= \text{ПК КК} - \frac{K}{2} \end{aligned} \right\} (4.2)$$

Контрольные формулы расчета пикетажных значений главных точек кривой

$$\left. \begin{aligned} \text{ПК КК} &= \text{ПК ВУ} + T - D \\ \text{ПК СК} &= \text{ПК КК} - \frac{K}{2} \end{aligned} \right\} (4.3)$$

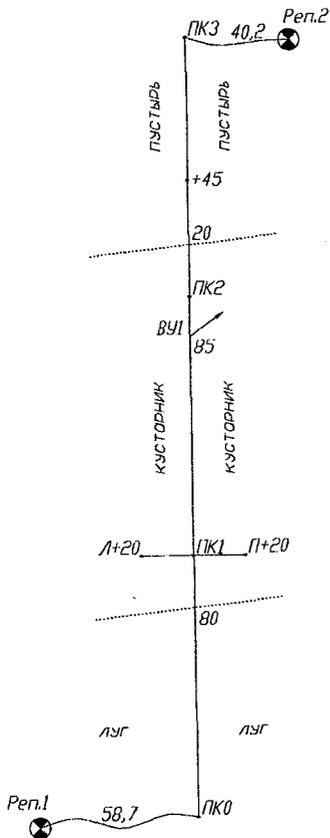
Вычисление пикетажных значений главных точек кривой следует выполнять в правой части пикетажного журнала (рис. 4.2).

Ось дороги представляет последовательность прямых и кривых линий, поэтому в практике возникает необходимость обозначить на трассе точки кривой, т.е. вынести (разбить) кривую на местности, используя для этого элементы кривой.

**Камеральная обработка журнала технического нивелирования.** Конечной целью обработки журнала технического нивелирования (табл. 4.1) является получение отметок всех точек трассы. Схема нивелирования трассы от репера 1 (начального), до репера 2 (конечной) приведена на рис. 4.3.

Журнал обрабатывают в следующей последовательности:

1. Для каждой станции **вычисляем превышения между связующими точками**. Для этого из отсчетов на заднюю рейку вычитают отсчеты на переднюю рейку (по черной и красной сторонам реек). Результаты записывают в графу 6 таблицы 4.1.



**Параметры кривой:**  
 $\Phi_{\text{прав.}} = 79^{\circ}38'$ ;  $R = 50,0 \text{ м.}$

**Элементы кривой:**  
 $T = 41,68 \text{ м; } K = 69,49 \text{ м;}$   
 $D = 13,87 \text{ м; } Б = 15,10 \text{ м.}$

**Вычисление пикетажных значений**

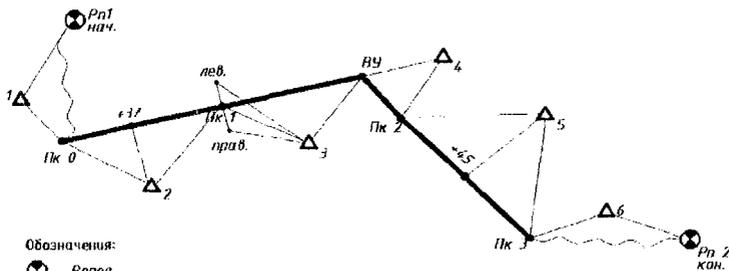
ПКВУ№1=ПК1+85,00	
-T	- 41,68
ПКНК =	ПК1+43,32
+K	+69,49
ПККК =	ПК2+12,81
-0,5K	-34,75
ПКСК =	ПК1+78,06

**Контрольные вычисления**

ПКВУ№1=ПК1+85,00	
+T	+41,68
	ПК2+2668
-D	-13,87
ПККК =	ПК2+12,81
-0,5K	-34,75
ПКСК =	ПК1+78,06

Рисунок 4.2 – Страница пикетажного журнала

*Схема нивелирования трассы*



Обозначения:

- Репер
- связующая точка
- промежуточная точка
- станция (место установки нивелира)

Рисунок 4.3 – Схема нивелирования трассы

Рассмотрим пример вычисления превышений на станции №1

$$h_{\text{чер.}} = 1120 - 1568 = -448 \text{ мм}; h_{\text{кр.}} = 5806 - 6250 = -444 \text{ мм}$$

Разность между полученными превышениями по черной и красной сторонам реек не должна превышать  $\pm 5$  мм, на станции № 1 это величина составляет  $-4$  мм.

2. Находим средние значения из вычисленных превышений (с округлением до 1 мм) и записывают в графу 7.

$$\text{Так на станции № 1 } h_{\text{ср.}} = \frac{(-448) + (-444)}{2} = -446 \text{ мм}$$

Если в округляемом значении  $h$  последней цифрой окажется 0,5(десятых), то округление производят до ближайшего целого четного числа (в миллиметрах).

$$\text{Например: } h_{\text{ср.}} = \frac{1712 + 1717}{2} = 1714,5 \approx 1714 \text{ мм}$$

**Таблица 4.1 – Журнал технического нивелирования**

№ станций	№№ точек	Отсчеты по рейкам, мм			Превышения, мм			Горизонт инструмента, м	Отметка точки, м
		задний	передн.	про-меж.	вычислен-ное	среднее	уравнен-ное		
1	Реп 1 ПКО	1120	1568		-448	+2	-444		50,546 50,102
		5806	6250		-444	-446			
2	ПКО	1353	0199		+1154	+2	+1156	51,455	50,102 51,258 48,823
	ПК1 +37	6040	4886	2632	+1154	+1154			
3	ПК1	0368	2768		-2400	+2	-2400	51,626	51,258 48,858 50,002 50,590
	ВУ	5052	7456		-2404	-2400			
	П+20 Л+20			1624 1036					
4	ВУ	0110	2966		-2856	+3	-2858		48,853 46,003
	ПК2	4796	7656		-2860	-2855			
5	ПК2	1801	0783		+1018	+2	+1017	47,804	46,003 47,002 47,504
	ПК3 +45	6487	5471		+1016	+1019			
6	ПК3	1836	0742		+1094	+2	+1096		47,022 48,120
	Реп.2	6520	5422		+1098	+1098			
Суммы		41289	46167		-4878	-2439	-2426		-2426
Контроль		$\Sigma 3 - \Sigma П = \Sigma h_{\text{выч}} = 2 \Sigma h_{\text{ср.}}; \Sigma h_{\text{исп.}} = H_{\text{р2}} - H_{\text{р1}}$							
Невязки		$f_h = \Sigma h_{\text{ср.}} - (H_{\text{р2}} - H_{\text{р1}}) = -13 \text{ мм} \quad f_{h_{\text{доп.}}} = \pm 50 \text{ мм} \cdot \sqrt{L} = \pm 32 \text{ мм} \quad L - \text{длина хода } 0,4 \text{ км}$							

3. Производим постраничный контроль вычислений, для чего на каждой странице находят сумму всех задних отсчетов  $\Sigma 3$ , сумму передних отсчетов  $\Sigma П$ , сумму вычисленных превышений  $\Sigma h_{\text{выч}}$ , и сумму средних превышений  $\Sigma h_{\text{ср.}}$  и проверяют равенство

$$\Sigma 3 - \Sigma П = \Sigma h_{\text{выч}} = 2 \Sigma h_{\text{ср.}} \quad (4.4)$$

В нашем примере  $\Sigma 3 - \Sigma П = 41289 - 46167 = -4878 \text{ мм}$

$$\Sigma h_{\text{выч}} = -4878 \text{ мм} \quad \Sigma h_{\text{ср.}} = -2439 \text{ мм} \quad 2 \Sigma h_{\text{ср.}} = -4878 \text{ мм}$$

Последние значения могут отличаться на 2-3 мм от первых двух за счет округления средних превышений.

4. **Определяем невязку** в разомкнутом нивелирном ходе по формуле:

$$f_h = \sum h_{CP} - (H_{кон.} - H_{нач.}), \quad (4.5)$$

где  $\sum h_{CP}$  – сумма средних превышений;

$H_{кон.}$  – отметка конечного репера (Рп2);  $H_{нач.}$  – отметка начального репера (Рп1).

*В нашем примере невязка равна*

$$f_h = -2439 - (48120 - 50546) = -13 \text{ мм.}$$

5. **Вычисляем допустимую невязку** по формуле:

$$f_{h \text{ доп.}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{0,4} = \pm 32 \text{ мм}, \quad (4.6)$$

где  $L$  – длина хода, выраженная в километрах, в нашем варианте 0,4 км.

6. **Уравняем превышения между связующими точками.** Если полученная невязка (допустима т.е.  $f_h \leq f_{h \text{ доп.}}$ ), то её распределяют поровну в виде поправок  $V_h$  во все средние превышения с обратным знаком  $V_h = -\frac{f_h}{n}$ .

Для получения уравненного превышения к среднему превышению (вычисленному на станции) прибавляют поправку с учетом знака  $h_{уравн} = h_{CP} + V_h$ .

Контроль уравнивания превышений: сумма поправок должна быть равна невязке с обратным знаком, а сумма уравненных превышений – теоретической сумме, т.е.

$$\sum h_{уравн.} = \sum h_T = H_{Рп2} - H_{Рп1} \quad (4.7)$$

в нашем случае  $\sum h_{уравн.} = -2426$ ;  $H_K - H_N = -2426$

7. **Вычисляем отметку передней связующей точки** по заданной отметке начального репера. Отметка последующей точки равна отметке (известной) предыдущей точки плюс уравненное превышение с учетом знака между ними.

$$\text{Например: } H_{ПК0} = H_{р.п.1} + h_{уравн.} = 50,546 + (-0,444) = 50,102 \text{ м}$$

$$H_{ПК1} = H_{ПК0} + h_{уравн.} = 50,102 + 1,156 = 51,258 \text{ м}$$

Надо учесть, что отметки выражают в метрах, а превышения получают в миллиметрах, поэтому при вычислении отметок превышения необходимо выражать в метрах. Эти данные заносим в графу 10, пропуская заполнение графы 9 таблицы 4.1

Последним вычислением в графе 10 должны получить исходную отметку конечного репера.

8. **Вычисляем горизонт инструмента (ГИ)** только тех станций, с которых нивелировались промежуточные (плюсовые) точки, их расстояние фиксировалось плюсовым значением от ближайшего пикета.

**Горизонтом инструмента называют отметку визирной оси данной станции над уровненной поверхностью.**

Горизонт инструмента станции равен отметке задней точки плюс отсчет по черной стороне рейки, установленной на этой точке. Вычисленный результат записывают в графу 9.

$$ГИ_{СТ} = H_{зад} + a_{зад}^{чр} \quad (4.8)$$

На станции №2 будет  $ГИ_{СТ2} = 50,102 + 1,353 = 51,455 \text{ м.}$

9. **Вычисляем отметки промежуточных точек** по формуле 4.9. Отметка промежуточной точки вычисляется от горизонта инструмента минус отсчет по черной стороне рейки на промежуточную точку.

$$H_{промеж.т.} = ГИ_{СТ} + a_{промеж.т.}^{чр} \quad (4.9)$$

В нашем примере:  $H_{+37} = 51,455 - 2,632 = 48,823$

В характерных местах местности, прилегающей к оси трассы, нивелируют так называемые поперечники. Точки поперечников нивелируют так же, как и промежуточные точки.

В нашем примере поперечник разбит на ПК 1 и пронивелирован со станции №3. Перпендикулярно оси нивелирного хода на ПК 1 была разбита линия, и на ней в характерных местах рельефа были намечены точки, расстояния до которых от ПК 1 измерены рулеткой. После того, как со станции №3 были пронивелированы связующие точки ПК 1 и ВУ, нивелируются промежуточные точки. Берутся отсчеты по черной стороне рейки на промежуточные точки, находящиеся на поперечнике П+20 и Л+20, которые записаны в графу 5 нивелирного журнала.

Горизонт инструмента на станции №3 равен:  $Г_{Ист.3} = 51,258 + 0,368 = 51,626$  м

Отметки точек поперечника будут равны:

$H_{П+20} = 51,626 - 1,624 = 50,002$  м

$H_{Л+20} = 51,626 - 1,036 = 50,590$  м.

#### **Построение продольного профиля трассы автодороги.**

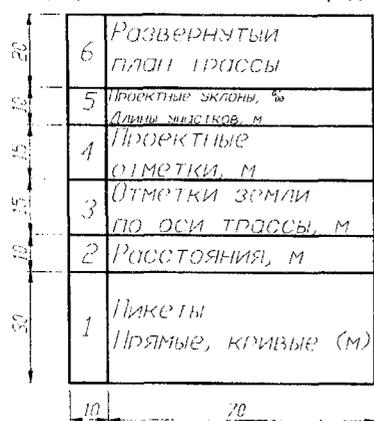
После вычисления отметок всех точек по трассе приступают к построению продольного профиля и поперечников. Профиль строят на миллиметровой бумаге формата А-3, где все размеры откладывают без измерителя. Масштабы для вертикальных линий обычно принимают в десять раз крупнее масштаба для горизонтальных линий, благодаря чему профиль приобретает большую наглядность. Для профиля автодороги рекомендуется взять масштабы: горизонтальный 1:2000 или 1:1000; вертикальный 1:200 или 1:100.

Для построения профиля надо в принятом масштабе для горизонтальных линий отложить все горизонтальные расстояния между пронивелированными точками, а в вертикальных направлениях все отметки этих точек с учетом вертикального масштаба.

Профиль строят в следующем порядке.

Вначале карандашом вычерчивают профильную сетку.

Профильная сетка состоит из ряда горизонтальных линий и имеет различные графы.



Для данной работы рекомендуется расположение граф и их размеры в миллиметрах взять согласно рис. 4.4.

Верхнюю горизонтальную линию профильной сетки (верхнюю линию графы план трассы) следует совместить с одной из линий на миллиметровой бумаге, а нижняя линия должна располагаться от нижнего края листа на 5 см, для того чтобы указать значения масштабов.

Исходными материалами для составления продольного и поперечного профилей являются пикетажный журнал и журнал технического нивелирования трассы автодороги. По данным пикетажного журнала заполняют графы 1, 2, 6, а по данным журнала технического нивелирования – графу 3.

**Рисунок 4.4 – Расположение и размеры граф профильной сетки**

Нумерация граф сетки профиля ведется снизу вверх по мере их заполнения.

Вершина угла (ВУ) на профиль автодороги не наносится, так как проектируемая трасса проходит по кривой.

Графы 1 и 2 заполняются в соответствии с данными пикетажного журнала. Номера пикетов подписывают через 100 м (10 см) с учетом горизонтального масштаба 1:1000, как показано на рис. 2.4 в нашем примере. В графе 2 «Расстояния» выделяют вертикальными отрезками с указанием расстояний плюсовых точек.

В графу 3 выписывают из журнала технического нивелирования вычисленные отметки пикетных и плюсовых точек с округлением их до сотых долей метра. Например, если вычисленная в журнале отметка ПК1 равна 51,258, то на профиле в графу 3 над ПК1 подписывают 51,26.

После заполнения графы 3 приступают к построению профильной линии. Верхней линии сетки задается условный горизонт, так чтобы самая низкая точка профиля располагалась над сеткой на расстоянии 5-7 см. В нашем примере условный горизонт принят 38 м. Далее отметки всех точек откладывают от линии условного горизонта в вертикальном масштабе. Для заполнения графы 6 «План трассы» используют пикетажный журнал, из которого переносят всю ситуацию. Посередине графы проводят красным цветом прямую линию – проектную ось трассы. По обе стороны от этой линии подписывают наименования углов и условными знаками (или словами) обозначают ситуацию на местности, стрелками углы поворота.

#### Заполнение графы 1 "Пикеты, прямые, кривые".

Круговые кривые, сопрягающие прямые участки трассы изображаются в графе 1 условным знаком в виде дуги красным цветом, как показано на рис. 4.5.

В графе 1 подписывают черным цветом номера пикетов. Посередине графы вначале карандашом проводят прямую линию, по которой в масштабе от ПК0 откладывают пикетажные наименования начала и конца кривой.

В графе план прямых и кривых вычерчивается условный план трассы. Начало и конец кривой отмечается вертикальной чертой, по их пикетажным значениям. В нашем примере (см. пикетажный журнал рис. 4.2). НК = ПК1 + 43,32 и КК = ПК2 + 12,81 таким образом для получения точки НК в графе 1 нужно от ПК1 отложить – 43,3 мм в масштабе 1:1000 а для получения КК, от ПК2 отложить –12,8 мм.

Кривые участки трассы обозначаются условными дугами (высотой 5мм) по длине, равной значению кривой. Положение дуги кривой определяется направлением угла поворота, дуга вычерчивается выпуклостью вверх, для углов поворота вправо (как в нашем примере рис. 4.5) и выпуклостью вниз для углов поворота влево.

Внутри каждой дуги, изображающей кривую, вписывают ее параметры и элементы: радиус, угол поворота трассы, тангенс, кривую, биссектрису и домер. В начале и конце условного знака кривой проводятся вертикальные прямые до линии пикетажа: на этих линиях (см. рис. 4.5) с обеих сторон подписываются расстояния от начала и конца кривой до ближайших пикетов, между которыми они находятся. Сумма этих расстояний, подписанная с обеих сторон вертикальной линии, всегда равна 100 м.

На прямых участках условного плана трассы вписывают (графа 1) длины прямых линий и румбы этих линий. Под линией подписывают её длину, над линией – направление румба и его величину.

По румбу предыдущего прямого участка и угла поворота трассы вычисляют румб последующего прямого участка. Для этого удобнее перейти от румба к дирекционному углу и произвести вычисления по формулам:

$$\alpha_{\text{послед}} = \alpha_{\text{предыд}} + \varphi_{\text{прав}} \text{ Или } \alpha_{\text{послед}} = \alpha_{\text{предыд}} - \varphi_{\text{левое}} \quad (4.10.)$$

Также румб последующего направления можно определить графически.

**Пример 1.**  $r = \text{СВ}:78^{\circ}32'$  – румб начального направления от ПК0 до ПК НК  $\varphi_{(\text{правый})} = 79^{\circ}38'$  – трасса поворачивает вправо.

Дирекционный угол  $\alpha_1 = 78^{\circ}32'$ , следовательно, дирекционный угол последующего участка  $\alpha_2 = \alpha_1 + \varphi = 78^{\circ}32' + 79^{\circ}38' = 158^{\circ}10'$ . Румб равен  $r_2 = \text{ЮВ}(180^{\circ} - 158^{\circ}10') = \text{ЮВ}:21^{\circ}50'$

**Пример 2.**  $R = \text{ЮЗ}:37^{\circ}18'$   $\varphi = 41^{\circ}10'$  (левый)

Дирекционный угол  $\alpha_1 = 180^{\circ} + 37^{\circ}18' = 217^{\circ}18'$ , следовательно,  $\alpha_2 = \alpha_1 - \varphi = 217^{\circ}18' - 41^{\circ}10' = 176^{\circ}08'$ . Румб равен  $r_2 = \text{ЮВ}(180^{\circ} - 176^{\circ}08') = \text{ЮВ}:3^{\circ}52'$ .

Все записи и линии (кроме номеров пикетов) условного плана трассы в графе 1 производятся красным цветом.

**Проведение проектной линии выполняют при соблюдении следующих четырёх условий:**

- 1) проектная отметка точки начала трассы ПК0 должна совпадать с фактической отметкой (земли) этой же точки  $H_{\text{ПК0}}^{\text{проект}} \approx H_{\text{ПК0}}^{\text{факт}}$ ;
- 2) объём земляных работ должен быть минимальным и сбалансированным;
- 3) продольный уклон линии не должен превышать предельного значения уклона, который задаётся преподавателем;
- 4) проектная линия должна состоять из нескольких участков с разными уклонами в точках перелома.

Вначале намечают линию проектного профиля, соблюдая на глаз, равенство площадей выемки и насыпи. Затем определяют графически по профилю проектные отметки на всех переломных точках профиля. В местах перелома проектного профиля в графе «Проектные уклоны» проводят вертикали, разделяющие отрезки трассы с разными уклонами. На каждом участке внутри графы 5 проводят линию, показывающую направление уклона, и подписывают его значение и длину. Знак уклона «±» не подписывают, так как эту характеристику положительное или отрицательное значение графически указывает направление уклона.

Графически определяем проектные отметки, начала и конца участка трассы, вычисляют проектный уклон

$$i = \frac{H_{\text{кон}}^{\text{проект}} - H_{\text{нач}}^{\text{проект}}}{d} \quad (4.11)$$

Если полученный уклон  $i$  меньше заданного предельного, то вычисляют проектные отметки всех пикетов и плюсовых точек первого, а затем последовательно и остальных отрезков проектного профиля по формуле 4.12:

$$H_{n+1}^{\text{пр}} = H_n^{\text{пр}} + i \cdot d, \quad (4.12)$$

где  $H_{n+1}^{\text{пр}}$  – проектная отметка определяемой точки;

$H_n^{\text{пр}}$  – проектная отметка предыдущей точки;

$i$  – вычисленный проектный уклон;

$d$  – расстояние между соседними точками  $n$  и  $n+1$ .

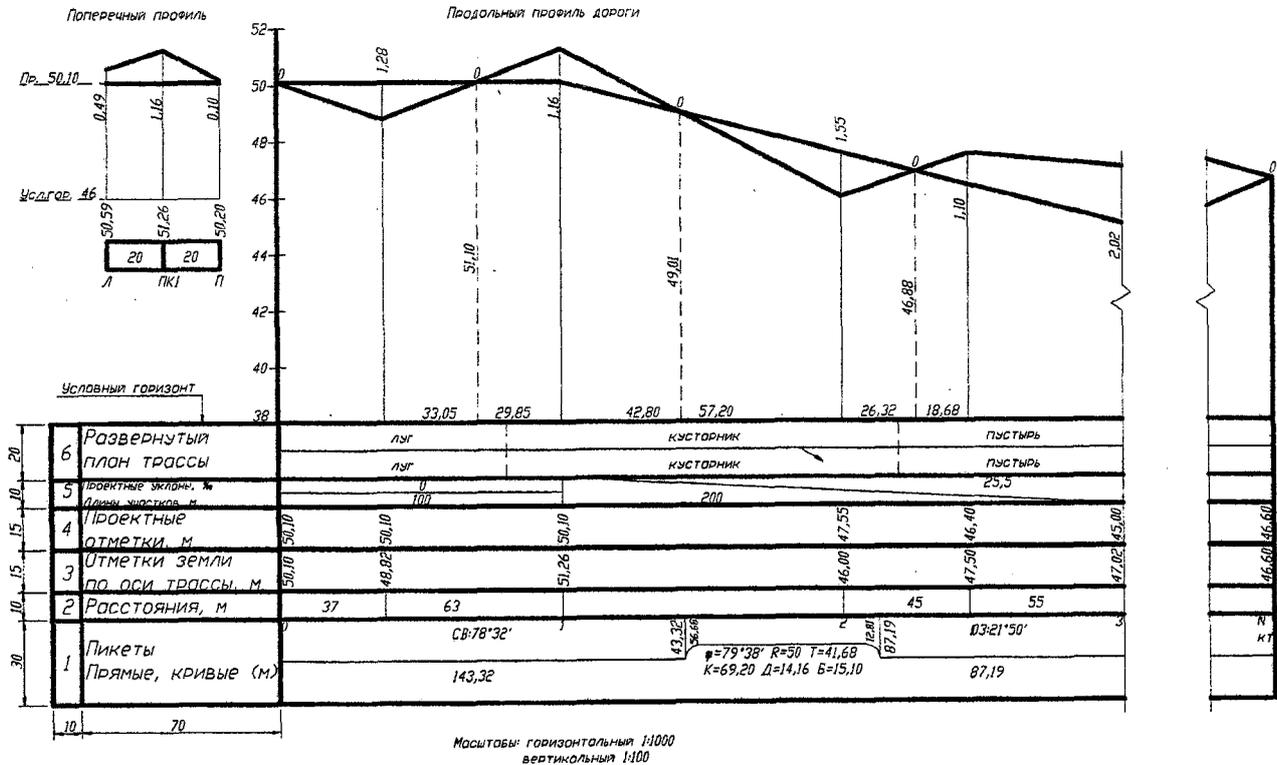


Рисунок 4.5 – Продольный и поперечный профили автомобильной дороги

Рассмотрим на рис. 4.5 расчет проектного уклона на первом участке от ПК0 до ПК1. Принимаем проектную отметку ПК0 равной фактической отметке, т.е. 50,10, отметку точки перелома совпадающую с ПК1 определяем по рисунку, она равна тоже 50,10, следовательно, проектный уклон первого участка равен 0‰ и проектные отметки его все равны 50,10. На втором участке от ПК1 до ПК3 точка перелома, а проектная отметка ПК3 по профилю равна 45,00, следовательно проектный уклон второго участка длиной  $d = 200$  м будет

$$i = \frac{h}{d} = \frac{45,00 - 50,10}{200} = -0,0255 = -25,5 \text{ ‰}$$

Полученный проектный уклон  $i = -25,5 \text{ ‰}$  меньше предельного ( $i_{\text{пред.}} = 30 \text{ ‰}$ ), что соответствует заданным условиям.

Проектная (красная) отметка любой точки на этом участке вычисляется по формуле 4.12.

Например:  $H_{\text{ПК}2}^{\text{пр.}} = H_{\text{ПК}1}^{\text{пр.}} + i \cdot d = 50,10 - 0,0255 \cdot 100 = 47,55$ .

Если  $i > i_{\text{пред.}}$ , то проектный уклон участка нужно уменьшить за счет увеличения объемов земляных работ.

Вычисленные уклоны и расстояния записывают в графу 5, а проектные отметки – в графу 4. Графы 4 и 5 оформляют красным цветом. Разность между проектной отметкой точки и отметкой поверхности земли (фактическая) показывает высоту насыпи или глубину выемки и называется *рабочей отметкой*  $h$ .

$$h = H^{\text{проектн.}} - H^{\text{фактич.}} \quad (4.13)$$

Рабочие отметки выписываются на расстоянии 0,5 см от проектной линии. Отметка насыпи выписывается *над* проектной (красной) линией, а отметка выемки – *под* проектной линией.

#### Определение положения точек нулевых работ и их отметок.

Точка нулевых работ находится на пересечении линии проектного профиля и линии профиля поверхности земли (рис. 4.5).

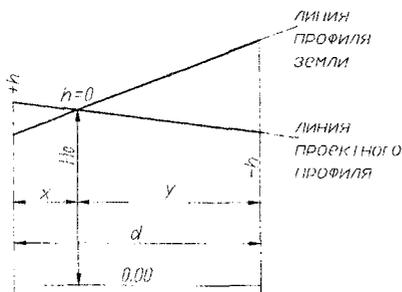
Расстояния до точки нулевых работ  $x$  и  $y$  от пикетных точек трассы определяют из соотношения

$$\frac{+h}{x} = \frac{l-hl}{y} = \frac{+h+l-hl}{d}; \quad (4.14)$$

$$x = \frac{+h \cdot d}{+h+l-hl}; \quad y = \frac{l-hl \cdot d}{l-hl+h} \quad (4.15)$$

где  $+h$  и  $-h$  – положительные и отрицательные рабочие отметки;

$d$  – расстояние между ними на участке трассы с уклоном  $i$ .



В формулах 4.14 и 4.15 отрицательные отметки берутся по абсолютной величине.

Например: расстояния от точки нулевых работ до ПК0+37 и до ПК 1 будут равны

$$x = \frac{1,28}{1,28 + 1,16} \cdot 63 = 33,05 \text{ м}$$

$$y = \frac{1,16}{1,28 + 1,16} \cdot 63 = 29,95 \text{ м}$$

Рисунок 4.6 – Положение точки нулевых работ

Отметку точки нулевых ( $H_0$ ) работ вычисляют по формуле:

$$H_0 = H_{ПКХ}^{проект} + i \cdot X, \quad (4.16)$$

$i$  - проектный угол на участке, где находится точка нулевых работ.

В нашем случае на участке от ПК 0+37 до ПК1 отметка точки нулевых работ  $H_0 = 50,10 + + 0\% \cdot 33,05 = 50,10$  м (горизонтальный проектный участок).

На участке от ПК1 до ПК2 проектный уклон равен  $- 25,5\%$ , рабочая отметка на ПК1  $h_{ПК1} = -1,25$  м, а на ПК2  $h_{ПК2} = +1,55$  м. Вычисленные значения по формуле 4.15 будут  $X = 57,20$  м;  $Y = 42,80$  м. Вычисляем отметку точки нулевых работ по формуле 4.16

$$H_0 = 50,10 + (-25,5\% \cdot 42,80) = 49,01 \text{ м.}$$

На профиле точки нулевых работ оформляются, синим цветом.

**Профили поперечников** строят в одинаковых масштабах для горизонтальных и вертикальных расстояний 1:100 или 1:200. Располагают поперечные профили на том же листе миллиметровки с продольным профилем трассы в наглядном месте (в нашем примере) над сеткой профиля левее шкалы отметок. Данными для построения продольного профиля являются расстояния между точками поперечника, и их фактические отметки из табл. 4.1, которые выписываются на поперечном профиле (рис. 4.5).

В середине на продольном профиле располагается точка трассы, на которой определялся (разбивался) поперечник и подписывается ее пикетажное значение. В нашем примере поперечник задан на ПК1 и нивелировался со станции №3.

**Оформление профилей.** Профиль вычерчивается разными цветами. При этом профильная сетка и наименования её граф вычерчиваются черным цветом. Черным цветом оформляются номера пикетов в графе 1, графы 2 и 3; линии продольного и поперечного профилей, построенные по фактическим отметкам уровня земли.

Красным цветом оформляют проектные отметки (графа 4), проектные уклоны и длины участков проектной линии (графа 5), в графе 6 красным цветом проводится осевая линия (условного плана трассы) и выписываются все параметры круговой кривой. Рабочие отметки выписываются красным цветом около линии профиля. Синим цветом оформляют отметки точек нулевых работ и расстояния от них до ближайших пикетов.

Сверху чертежа подписывают "Продольный профиль автодороги" и внизу масштабы – горизонтальный и вертикальный.

Страница пикетажного журнала с вычисленными значениями оформляется на бумаге формата А4 черным цветом.

Учебное издание

Составители:

*Синякина Наталья Васильевна*

*Нагурный Сергей Григорьевич*

**Методические указания**  
**для выполнения расчетно-графических работ**  
**по дисциплине «Инженерная геодезия»**

Ответственный за выпуск: Синякина Н.В.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная верстка: Кармаш Е.Л.

Корректор: Никитчик Е.В.

---

Стереотипное издание

Подписано к печати 02.11.2010. Формат 60x84 1/16. Бумага «Снегурочка».

Усл. п. л. 1,86. Уч.-изд. л. 2,0. Тираж 200 экз. Заказ № 918.

Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Брестский государственный технический университет».

224017, Брест, ул. Московская, 267.