

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Инженерная геодезия»

И.Е. Рак

**МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ  
ПРИ РАЗВЕДКЕ И ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности 1-51 02 01  
«Разработка месторождений полезных ископаемых»

Минск 2004

УДК 622.1:528(076.5)

ББК 33.12я7

Р 19

Рецензент

кандидат технических наук В.Ф. Нестеренок

**Рак И.Е.**

Р 19      Маркшейдерские работы при разведке и добыче полезных ископаемых: Учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых» / И.Е. Рак. – Мн.: БНТУ, 2004. – 38.

ISBN 985-479-191-2.

В данном учебно-методическом пособии рассматривается комплекс геодезическо-маркшейдерских работ, выполняемых при разведке и добыче полезных ископаемых. Рассматриваются работы по созданию геодезического съемочного обоснования и выноса в натуру осей разведочной выработки, ориентировании подземных выработок. Дается краткая информация о геометризации месторождений полезных ископаемых.

**УДК 622.1:528(076.5)**

**ББК 33.12я7**

ISBN 985-479-191-2

© Рак И.Е., 2004

## **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящее учебное пособие составлено в соответствии с программой учебной дисциплины «Геодезия, маркшейдерское дело и геометризация недр» для студентов специальности «Разработка месторождений полезных ископаемых».

Назначение пособия – помочь студентам при усвоении и выполнении ими основных видов геодезическо-маркшейдерских работ. В пособии рассматривается следующий комплекс работ:

1. Развитие геодезического съёмочного обоснования при изысканиях и разработке месторождений полезных ископаемых.
2. Вынос в натуру оси горной выработки.
3. Геодезические съёмки земной поверхности и расчеты по проектированию искусственного рельефа при планировке территории и рекультивации земель.
4. Геодезический контроль за смещениями земной поверхности над подземными выработками.
5. Ориентирование подземных выработок и съёмки.
6. Графическая геометризация месторождений полезных ископаемых.
7. Стереофотограмметрический метод съёмки открытых горных пород с графическим определением геодезических координат бровок уступа карьера по наземным снимкам нормального случая съёмки.

### **1. ПРИВЯЗКА ПУНКТОВ СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ В ПЛАНЕ К ПУНКТАМ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ УГЛОВЫМИ ЗАСЕЧКАМИ**

На территории добычи полезных ископаемых необходима опорная сеть геодезических пунктов в государственной или местной системе координат. На подрабатываемых участках территорий развиваются вторичные геодезические сети, предназначенные для геодезического обеспечения горных работ. Например, съёмочное геодезическое обоснование создается для картографирования земной поверхности, проведения горно-проходческих работ и подземных съёмки по определению объемов горных выработок, геометрии залегания пластов и др.

Пункты съемочного обоснования закрепляются геодезическими знаками, плановые и высотные координаты которых должны быть определены оптимальными в данных условиях местности способами (в зависимости от рельефа, залесенности, наличия водных преград и др).

Съемочное обоснование обычно развивается полигонометрическими и теодолитными ходами с применением теодолитов и светодальномеров, а также стальных лент (рулеток). Электронные тахеометры являются наиболее эффективными современными приборами для создания съемочного обоснования и проведения съемочных работ.

Определение плановых и высотных координат пунктов съемочной сети осуществляется через геодезическую ее привязку к плановым и высотным пунктам опорной геодезической сети. В равнинной открытой и частично открытой местности съемочная сеть обычно непосредственно опирается на пункты исходной сети или применяются привязочные полигонометрические (теодолитные) ходы. В случаях нецелесообразности применения привязочных ходов плановую привязку съемочной сети осуществляют геодезическими засечками. Вид засечки выбирают в зависимости от применяемых средств измерения углов и расстояний.

Планово-высотная привязка съемочной сети может выполняться также спутниковыми геодезическими приборами.

Привязать пункт в плане - это значит определить его координаты  $X$  и  $Y$  в единой системе с опорными пунктами. В открытой пересеченной местности и на участках, где непосредственные измерения линий стальными рулетками затруднены или невозможны, взамен теодолитных ходов координаты пунктов съемочного обоснования определяют прямой или обратной угловыми геодезическими засечками.

Угловая засечка, в которой используется минимально необходимое число исходных пунктов и измеренных углов, называется *однократной*. Координаты, определенные однократной засечкой, нельзя проверить. Чтобы получить контроль правильности определения координат и оценить точность засечки, необходимо использовать дополнительные исходные пункты и произвести соответствующие угловые измерения. Засечки, в которых для получения координат пункта используют

дополнительные (сверх минимально необходимого числа) пункты и угловые измерения, называют *многократными*.

*Обратной многократной угловой засечкой* определяются координаты пункта по данным измерения над ним углов не менее чем с четырех исходных пунктов, координаты которых известны (рис.1.1).

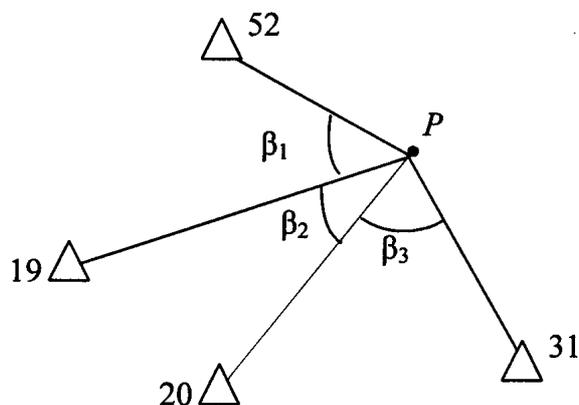


Рис.1.1. Схема обратной многократной засечки

*Прямой многократной угловой засечкой* определяются координаты пункта по данным измерения углов или направлений на определяемый пункт не менее чем с трех исходных пунктов, координаты которых известны (рис.1.2).

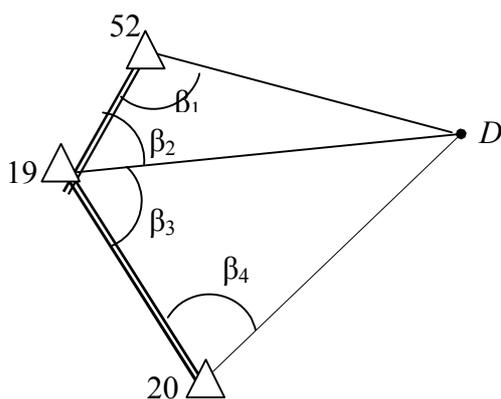


Рис.1.2. Схема прямой многократной засечки

Расхождение в координатах, определенных в результате прямой и обратной засечек, не должно превышать 0,2 м при длинах сторон более 400 м и 0,1 м при длинах сторон до 400 м.

## 1.1. Привязка методом обратной угловой засечки

Сущность привязки обратной угловой засечкой состоит в том, что относительно минимум трех твердых пунктов (20, 19, 52, координаты которых соответственно равны  $x_{20}, y_{20}; x_{19}, y_{19}; x_{52}, y_{52}$ ), нужно определить дирекционные углы линий  $P-20, P-19, P-52$  и координаты  $x_P, y_P$  точки  $P$  (рис. 1.3).

Для этого над определяемым пунктом  $P$  теодолитом измеряют горизонтальные углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$ .

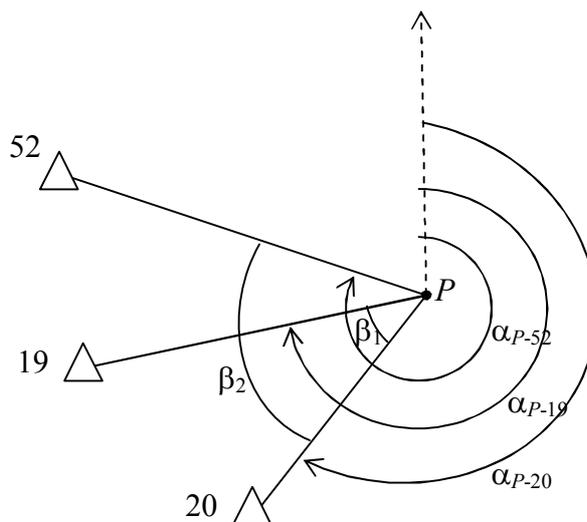


Рис. 1.3. Схема обратной угловой засечки

Решение обратной угловой засечки с помощью инженерного калькулятора выполняется в такой последовательности:

1. Вычисляется тангенс румба линии  $P-20$ , т.е.

$$\operatorname{tgr}_{P-20} = \frac{(y_{20} - y_{19}) \operatorname{ctg} \beta_1 + (y_{52} - y_{20}) \operatorname{ctg} \beta_2 + (x_{19} - x_{52})}{(x_{20} - x_{19}) \operatorname{ctg} \beta_1 + (x_{52} - x_{20}) \operatorname{ctg} \beta_2 + (y_{52} - y_{19})} = \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

От румба  $r_{P-20}$  переходят к дирекционному углу  $\alpha_{P-20}$ .

2. Вычисляются дирекционные углы  $\alpha_{P-19}$  и  $\alpha_{P-52}$ :

$$\alpha_{P-19} = \alpha_{P-20} + \beta_1;$$

$$\alpha_{P-52} = \alpha_{P-20} + \beta_2.$$

3. Вычисляются приращение  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$  и абсцисса:

$$x_P = x_{20} + \Delta x_1 = x_{19} + \Delta x_2$$

$$x_P = \Delta x_1 + x_{20} = \frac{(x_{20} - x_{19}) \operatorname{tg} \alpha_{P-19} - y_{20} + y_{19}}{\operatorname{tg} \alpha_{P-20} - \operatorname{tg} \alpha_{P-19}} + x_{20},$$

$$x_P = \Delta x_2 + x_{19} = \frac{(x_{20} - x_{19}) \operatorname{tg} \alpha_{P-52} - y_{20} + y_{19}}{\operatorname{tg} \alpha_{P-20} - \operatorname{tg} \alpha_{P-19}} + x_{19}.$$

4. Вычисляется ордината  $y_P$ :

$$y_P = (x_P - x_{19}) \operatorname{tg} \alpha_{P-19} + y_{19},$$

$$y_P = (x_P - x_{20}) \operatorname{tg} \alpha_{P-20} + y_{20}.$$

Пример определения координат методом обратной угловой засечки приведен в табл. 1.1.

#### Исходные данные

|                          |   |
|--------------------------|---|
| $x_{20} = 4911,98$ м     | $y_{20} = 2964,30$ м                    |
| $x_{19} = 5168,26$ м     | $y_{19} = 2853,87$ м                    |
| $x_{52} = 5640,39$ м     | $y_{52} = 2793,14$ м                    |
| $\beta_1 = 17^\circ 33'$ | $\operatorname{ctg} \beta_1 = 3,161971$ |
| $\beta_2 = 58^\circ 06'$ | $\operatorname{ctg} \beta_2 = 0,622445$ |

Т а б л и ц а 1.1

| № п/п | Обозначения и формулы                                    | Результаты вычислений | № п/п | Обозначения и формулы   | Результаты вычислений |
|-------|--|-----------------------|-------|---|-----------------------|
| 1     | $x_{20} - x_{19}$  | - 256,28 м            | 16    | $\alpha_{P-52} = \alpha_{P-20} + \beta_2$                               | $266^\circ 53' 10''$  |
| 2     | $C = (x_{20} - x_{19}) \operatorname{ctg} \beta_1$       | - 810,3498 м          | 17    | $\operatorname{tg} \alpha_{P-19}$                                       | 1,0477615             |
| 3     | $x_{52} - x_{20}$  | 728,41 м              | 18    | $A = \operatorname{tg} \alpha_{P-20} - \operatorname{tg} \alpha_{P-19}$ | - 0,498322            |
| 4     | $D = (x_{52} - x_{20}) \operatorname{ctg} \beta_2$       | 453,3953 м            | 19    | $\varepsilon = (x_{20} - x_{19}) \operatorname{tg} \alpha_{P-20}$       | - 140,81023 м         |
| 5     | $E = x_{19} - x_{52}$                                    | - 472,13 м            | 20    | $B = \varepsilon - (y_{20} - y_{19})$                                   | -251,2402 м           |
| 6     | $y_{20} - y_{19}$  | 110,43 м              | 21    | $\varepsilon_1 = (x_{20} - x_{19}) \operatorname{tg} \alpha_{P-19}$     | - 268,5203 м          |
| 7     | $N = (y_{20} - y_{19}) \operatorname{ctg} \beta_1$       | 349,1764 м            | 22    | $B_1 = \varepsilon_1 - (y_{20} - y_{19})$                               | - 378,9503 м          |
| 8     | $y_{52} - y_{20}$  | - 171,16 м            | 23    | $\Delta x_1 = \frac{B_1}{A}$  | 760,4527 м            |
| 9     | $M = (y_{52} - y_{20}) \operatorname{ctg} \beta_2$       | - 106,5377 м          | 24    | $\Delta x_2 = \frac{B}{A}$  | 504,1724 м            |
| 10    | $K = y_{52} - y_{19}$                                    | - 60,73 м             | 25    | $x_P = x_{20} + \Delta x_1$   | <b>5672,433 м</b>     |
| 11    | $\Delta x = C + D + K$                                   | - 417,684 м           | 26    | $x_{P'} = x_{19} + \Delta x_2$  | <b>5672,432 м</b>     |
| 12    | $\Delta y = N + M + E$                                   | - 229,4913 м          | 27    | $F = (x_P - x_{20}) \operatorname{tg} \alpha_{P-20}$                    | 417,8223 м            |
| 13    | $\operatorname{tg} r_{P-20} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ | 0,549438              | 28    | $F_1 = (x_P - x_{19}) \operatorname{tg} \alpha_{P-19}$                  | 528,2524 м            |
| 14    | $\alpha_{P-20}$  | $208^\circ 47' 10''$  | 29    | $y_P = F + y_{20}$  | <b>3382,122 м</b>     |
| 15    | $\alpha_{P-19} = \alpha_{P-20} + \beta_1$                | $226^\circ 20' 10''$  | 30    | $y_{P'} = F_1 + y_{19}$   | <b>3382,122 м</b>     |

## 1.2. Контроль положения пункта, определенного обратной угловой засечкой

По найденным координатам пункта  $P$  и координатам пунктов 19 и 52 вычисляют дирекционные углы  $\alpha_{P-19}$  и  $\alpha_{P-52}$ . Затем определяют

$$\beta_{\text{выч}} = \alpha_{P-52} - \alpha_{P-19}$$

и сравнивают его с измеренным значением  $\beta_{\text{изм}}$ . Должно быть

$$|\beta_{\text{выч}} - \beta_{\text{изм}}| < 3m_{\beta},$$

где  $m_{\beta}$  - средняя квадратическая ошибка измерения углов  $\beta_{\text{изм}}$  и  $\beta_{2\text{изм}}$  ( $m_{\beta} \leq 10''$ ).

## 1.3. Плановая привязка пункта методом прямой угловой засечки

Для определения с контролем координат точки  $D$  прямой угловой засечкой относительно двух исходных пунктов 19 и 52 в треугольнике  $D-19-52$  измеряют углы  $\gamma$ ,  $\beta$  (рис. 1.4), а в треугольнике  $D-19-20$  относительно исходных пунктов 19 и 20 - углы  $\gamma'$ ,  $\beta'$ . Применяя формулы Юнга к обоим треугольникам, дважды вычисляют абсциссу  $x_D$  пункта  $D$  и дважды ординату  $y_D$ .

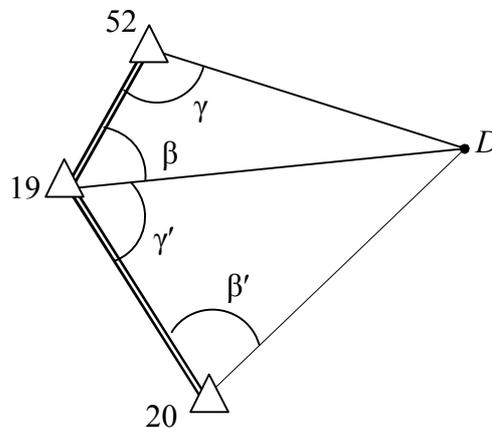


Рис. 1.4. Схема прямой угловой засечки

Из треугольника  $D-19-52$  находим:

$$x_D = \frac{x_{20} \operatorname{ctg} \beta + x_{19} \operatorname{ctg} \gamma + y_{19} - y_{20}}{\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{ctg} \beta},$$

$$y_D = \frac{y_{20} \operatorname{ctg} \beta + y_{19} \operatorname{ctg} \gamma - x_{19} + x_{20}}{\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{ctg} \beta}.$$

Из треугольника  $D-19-20$ :

$$x_{D'} = \frac{x_{19} \operatorname{ctg} \beta' + x_{52} \operatorname{ctg} \gamma' + y_{52} - y_{19}}{\operatorname{ctg} \gamma' + \operatorname{ctg} \beta'}$$

$$y_{D'} = \frac{y_{19} \operatorname{ctg} \beta' + y_{52} \operatorname{ctg} \gamma' - x_{52} + x_{19}}{\operatorname{ctg} \gamma' + \operatorname{ctg} \beta'}$$

Пример определения координат методом прямой угловой засечки, приведен в табл. 1.2.

#### Исходные данные

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| $x_{52} = 18343,844$ м      | $y_{52} = 721,804$ м                       |
| $x_{19} = 18320,028$ м      | $y_{19} = 885,263$ м                       |
| $x_{20} = 18441,485$ м      | $y_{20} = 868,237$ м                       |
| $\beta = 35^{\circ}42,0'$   | $\operatorname{ctg} \beta = 1,39164725$    |
| $\gamma = 119^{\circ}50,0'$ | $\operatorname{ctg} \gamma = -0,57347825$  |
| $\beta' = 125^{\circ}06,7'$ | $\operatorname{ctg} \beta' = -0,70311601$  |
| $\gamma' = 38^{\circ}01,9'$ | $\operatorname{ctg} \gamma' = 1,278484534$ |

Т а б л и ц а 1.2

| Первый треугольник |  |                       | Второй треугольник |   |                       |
|--------------------|--|-----------------------|--------------------|---|-----------------------|
| № п/п              | Обозначения и формулы  | Результаты вычислений | № п/п              | Обозначения и формулы   | Результаты вычислений |
| 1                  | $E = x_{52} - x_{19}$  | 23,816 м              | 12                 | $E' = x_{19} - x_{20}$  | - 121,457 м           |
| 2                  | $C = y_{19} - y_{52}$  | 163,459 м             | 13                 | $C' = y_{20} - y_{19}$  | - 17,026 м            |
| 3                  | $B = \operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{ctg} \beta$               | 0,818169 м            | 14                 | $B' = \operatorname{ctg} \gamma' + \operatorname{ctg} \beta'$               | 0,5753685 м           |
| 4                  | $x_{52} \operatorname{ctg} \beta$  | 25528,160 м           | 15                 | $x_{19} \operatorname{ctg} \beta'$  | - 12881,105 м         |
| 5                  | $x_{19} \operatorname{ctg} \gamma$                                       | - 10506,138 м         | 16                 | $x_{20} \operatorname{ctg} \gamma'$   | 23577,153 м           |
| 6                  | $A = x_{52} \operatorname{ctg} \beta + x_{19} \operatorname{ctg} \gamma$ | 15022,022 м           | 17                 | $A' = x_{19} \operatorname{ctg} \beta' + x_{20} \operatorname{ctg} \gamma'$ | 10696,048 м           |
| 7                  | $x'_{D'} = \frac{A + C}{B}$  | <b>18560,323</b> м    | 18                 | $x'_{D'} = \frac{A' + C'}{B'}$  | <b>18560,317</b> м    |
| 8                  | $y_{52} \operatorname{ctg} \beta$  | 1004,496 м            | 19                 | $y_{19} \operatorname{ctg} \beta'$  | - 622,443 м           |
| 9                  | $y_{19} \operatorname{ctg} \gamma$                                       | - 507,679 м           | 20                 | $y_{20} \operatorname{ctg} \gamma'$   | 1110,028 м            |
| 10                 | $K = y_{52} \operatorname{ctg} \beta + y_{19} \operatorname{ctg} \gamma$ | 496,817 м             | 21                 | $K' = y_{19} \operatorname{ctg} \beta' + y_{20} \operatorname{ctg} \gamma'$ | 487,585 м             |
| 11                 | $y'_{D'} = \frac{K + E}{B}$  | <b>636,339</b> м      | 22                 | $y'_{D'} = \frac{K' + E'}{B'}$  | <b>636,336</b> м      |

#### 1.4. Оценка точности положения пункта, определенного прямой угловой засечкой

Для определения допустимости расхождений в значениях координат, полученных из двух решений треугольников, должно быть

$$r = \sqrt{(x_D - x'_D)^2 + (y_D - y'_D)^2} < 3M_r, \quad (1.1)$$

где  $M_r = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$ .

Здесь  $M_1$  и  $M_2$  - средние квадратические погрешности положения пункта  $D$ , определенного относительно геодезических пунктов 52, 19 и 19, 20 (см. рис.1.4).

$$M_1 = \frac{m}{\rho \sin \varepsilon} \sqrt{s_1^2 + s_2^2}; \quad M_2 = \frac{m}{\rho \sin \varepsilon'} \sqrt{s_2^2 + s_3^2}.$$

В этих формулах:

$m$  - средняя квадратическая погрешность измерения угла;

$\varepsilon = 180^\circ - (\beta + \gamma)$  в треугольнике 19- $D$ -52;

$\varepsilon' = 180^\circ - (\beta' + \gamma')$  в треугольнике 19- $D$ -20.

Длины сторон ( $s_1 = S_{D-52}$ ;  $s_2 = S_{D-19}$ ;  $s_3 = S_{D-20}$ ) определяются по теореме синусов из треугольников 52- $D$ -19 и 19- $D$ -20:

$$s_1 = \frac{s \sin \beta}{\sin \varepsilon}; \quad s_2 = \frac{s \sin \gamma}{\sin \varepsilon}; \quad s_3 = \frac{s' \sin \gamma'}{\sin \varepsilon'}$$

где  $s = S_{19-52}$ ,  $s' = S_{19-20}$ .

Длины линий  $s$  и  $s'$  определяются по координатам пунктов 52, 19 и 20 решением обратной геодезической задачи.

Если расхождения между полученными координатами пункта  $D$  удовлетворяют неравенству (1.1), то за окончательные значения его координат  $X_D$  и  $Y_D$  принимают средние арифметические значения.

Выполним оценку точности результатов, полученных в рассматриваемом примере:

$$r = \sqrt{(x_D - x'_D)^2 + (y_D - y'_D)^2} = \sqrt{0,006^2 + 0,003^2} = 0,007 \text{ м.}$$

В треугольнике 19-D-52  $\varepsilon = 180^\circ - (\beta + \gamma) = 24^\circ 28' 00''$ .

В треугольнике 19-D-20  $\varepsilon' = 180^\circ - (\beta' + \gamma') = 16^\circ 51' 24''$ .

$$S_{D-52} = \frac{S_{19-52} \sin \beta}{\sin \varepsilon} = 232,739 \text{ м}; \quad S_{D-19} = \frac{S_{19-52} \sin \gamma}{\sin \varepsilon} = 345,984 \text{ м};$$

$$S_{D-20} = \frac{S_{19-20} \sin \gamma'}{\sin \varepsilon'} = 260,573 \text{ м};$$

$$M_1 = \frac{m}{\rho \sin \varepsilon} \sqrt{s_1^2 + s_2^2} = 0,005 \text{ м}; \quad M_2 = \frac{m}{\rho \sin \varepsilon'} \sqrt{s_2^2 + s_3^2} = 0,007 \text{ м}.$$

$$M_r = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = 0,009 \text{ м}.$$

$$3 M_r = 0,027 \text{ м}.$$

Итак,  $0,007 < 0,027$

Следовательно,  $x_D = 18560,320 \text{ м}; y_D = 636,338 \text{ м}.$

## **2. ВЫЧИСЛЕНИЕ РАЗБИВОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ВЫНОСА В НАТУРУ ОСИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ**

При перенесении в натуру проектного положения скважин буровых и горно-проходческих работ, а также при некоторых геологических изысканиях следует знать положение горной выработки на местности. Положение горной выработки на местности определяется центром скважины или стволом шахты.

Вынос в натуру центра шахтного ствола следует производить относительно пунктов опорных геодезических сетей, а также от точек магистральных ходов, профильных линий и пунктов съемочной геодезической сети, удаленных от выработки не более чем на 300 м. Перенесение центра производят дважды относительно различных пунктов. Расхождение в положении центра ствола на местности из двукратного его определения не должно превышать 0,5 м. Угловая погрешность разбивки не должна превышать  $\pm 3'$  [12]. Указанные допуски для разбивок даны относительно пунктов геодезической сети, с которых определены координаты пунктов для разбивки центра и осей выработки.

Для перенесения проекта положения горной выработки в натуру составляют разбивочную схему, пользуясь исходной проектной документацией. На схеме

10

(рис.2.1) указывают необходимые для разбивки геодезические данные (исходные пункты, разбивочные углы и длины линий).

Пусть выносу в натуру подлежат точки  $A$  и  $B$  с проектными координатами  $x_A, y_A; x_B, y_B$ , а на местности вблизи точек расположены пункты  $P$  и  $D$  съемочной сети с известными координатами  $x_P, y_P; x_D, y_D$ .

Работы по выносу в натуру точки способом полярных координат производятся с помощью соответствующего разбивочного чертежа.

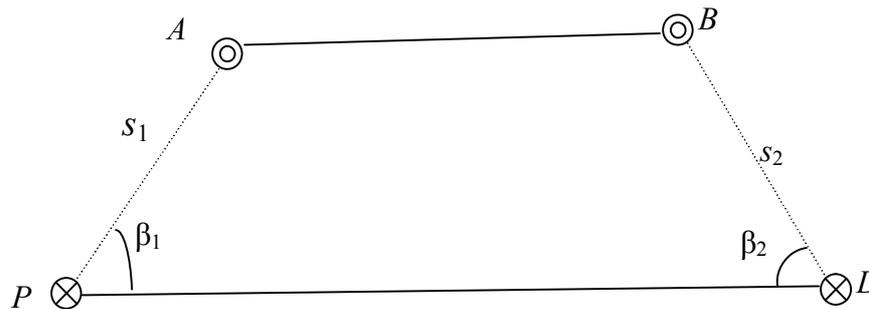


Рис.2.1. Схема разбивочного чертежа по выносу в натуру скважин  $A$  и  $B$  способом полярных координат

Подготовка и составление разбивочного чертежа включает:

1. Определение по топографическому плану графическим способом координаты проектных точек  $A$  и  $B$ .

Графическая точность определения координат и расстояний равна 0,2-0,3 мм в масштабе плана (карты). Для плана масштаба 1:1000 эта погрешность соответствует 20 - 30 см на местности. Следовательно, точность, с которой графически получены координаты точек  $A$  и  $B$ , удовлетворяет требованиям инструкции [12].

2. Вычисление румба, а затем и дирекционного угла линии  $PD$  по координатам точек  $P$  и  $D$ :

$$r_{PD} = \operatorname{arctg} \frac{y_D - y_P}{x_D - x_P}.$$

По знакам  $\Delta x$  и  $\Delta y$  находим румбическую четверть и затем дирекционный угол  $\alpha_{PD}$ .

3. Вычисление прямого румба линии  $PA$ :

$$r_{PA} = \operatorname{arctg} \frac{y_A - y_P}{x_A - x_P},$$

а затем дирекционного угла  $\alpha_{PA}$ .

4. Вычисление проектного угла  $\beta_1$  между линиями  $PA$  и  $PD$ ; он равен разности дирекционных углов:

$$\beta_1 = \alpha_{PD} - \alpha_{PA}.$$

5. Вычисление горизонтального проложения  $s_1$  линии  $PA$ :

$$s_1 = \sqrt{(x_A - x_P)^2 + (y_A - y_P)^2} = \frac{\Delta y}{\sin \alpha} = \frac{\Delta x}{\cos \alpha}.$$

Аналогично рассчитываются угол  $\beta_2$  и горизонтальное проложение  $s_2$  для выноса точки  $B$ .

Общая средняя квадратическая погрешность планового положения проектной точки находится по формуле

$$m = \sqrt{m_s^2 + s^2 \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 + m_{и}^2 + m_{ц}^2 + m_{ф}^2},$$

в которой учитываются средние квадратические погрешности:

$m_s$  - разбивки отрезка  $s$  от пункта геодезической сети до выносимой точки;

$m_\beta$  - разбивки полярного угла  $\beta$ ;

$m_{и}$  - исходных данных;

$m_{ц}$  - центрирования теодолита;

$m_{ф}$  - фиксирования проектной точки на местности.

Решение этой задачи рассмотрим на конкретном примере (рис.2.2).

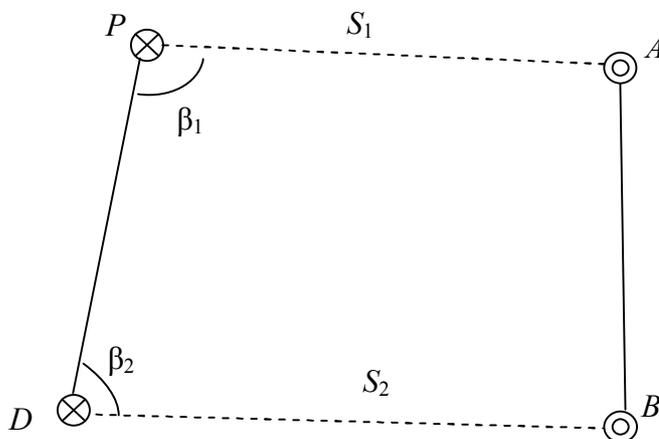


Рис.2.2. Схема разбивочного чертежа по выносу в натуре скважин  $A$  и  $B$

Исходные данные представлены в табл. 2.1.

Т а б л и ц а 2.1

| Номер точки | Координаты, м |          | Географические координаты, м |        |
|-------------|---------------|----------|------------------------------|--------|
|             | $x$           | $y$      | $x$                          | $y$    |
| $P$         | 5457,339      | 3527,102 |                              |        |
| $D$         | 5408,200      | 3515,010 |                              |        |
| $A$         |               |          | 5449,5                       | 3556,5 |
| $B$         |               |          | 5401,0                       | 3570,5 |

Определение дирекционного угла  $\alpha_{PD}$  линии  $PD$  приведено в табл. 2.2.

Т а б л и ц а 2.2

| № п/п | Формулы и обозначения                           | Результаты вычислений |
|-------|---|-----------------------|
| 1     | $\Delta x = x_D - x_P$                          | - 49,139 м            |
| 2     | $\Delta y = y_D - y_P$                          | - 12,092 м            |
| 3     | $\text{tg } r_{PD} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ | 0,246077              |
| 4     | $r_{PD}$  | 13°49'                |
| 5     | $\alpha_{PD}$                                   | 193°49'               |

Вычисление разбивочных элементов  $\beta_1$  и  $\beta_2$ ,  $d_1$  и  $d_2$  приведено в табл. 2.3.

Т а б л и ц а 2.3

| № п/п | Формулы и обозначения                           | Результаты вычислений | № п/п | Формулы и обозначения                           | Результаты вычислений |
|-------|---|-----------------------|-------|---|-----------------------|
| 1     | $\Delta x = x_A - x_P$                          | - 7,839 м             | 8     | $\Delta x = x_B - x_D$                          | - 7,2 м               |
| 2     | $\Delta y = y_A - y_P$                          | 29,398 м              | 9     | $\Delta y = y_B - y_D$                          | 55,49 м               |
| 3     | $\text{tg } r_{PA} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ | - 3,750223            | 10    | $\text{tg } r_{DB} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ | - 7,7069444           |
| 4     | $r_{PA}$  | 75°04'                | 11    | $r_{DB}$  | 82°36'                |
| 5     | $\alpha_{PA}$                                   | 104°56'               | 12    | $\alpha_{DB}$                                   | 97°24'                |
| 6     | $\beta_1 = \alpha_{PD} - \alpha_{PA}$           | 88°53'                | 13    | $\beta_2 = \alpha_{DB} - \alpha_{DP}$           | 83°35'                |
| 7     | $S_1 = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$          | 30,42 м               | 14    | $S_2 = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$          | 55,96 м               |

Вычислим среднюю квадратическую ошибку положения точки  $B$ . Для этого примем

$$\frac{m_s}{s} = \frac{1}{2000}; s = 55,96 \text{ м} \approx 56000 \text{ мм. Тогда абсолютная погрешность значения } s \text{ равна:}$$

$$m_s = \frac{s}{200} = 28 \text{ мм}; m_\beta = 30''; m_\phi = 10 \text{ мм}; m_{\text{ц}} = 10 \text{ мм}; m_{\text{и}} = 10 \text{ мм};$$

$$m = \sqrt{m_s^2 + s_2 \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 + m_{\text{и}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_\phi^2} =$$

$$= \sqrt{28^2 + 55960^2 \left( \frac{30''}{206265} \right)^2 + 10^2 + 10^2 + 10^2} = 33,9 \text{ мм} = 0,034 \text{ мм.}$$

### **3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПРИ ПЛАНИРОВКЕ ПОВЕРХНОСТИ ПОД ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ ПЛОЩАДКУ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ**

Основными задачами маркшейдерской службы при проведении рекультивационных работ являются: подготовка графической документации, необходимой для разработки проекта рекультивации; выполнение съёмочно-замерных работ в период осуществления проекта горнотехнических работ при рекультивации и определение их объема; производство контрольных съёмок, организация наблюдений за оседанием пород и составление комплекта графической документации на рекультивированные участки территории, необходимой для передачи участков для использования в народном хозяйстве.

При сплошной планировке на участках, предназначенных для возделывания сельскохозяйственных культур, уклон поверхности должен находиться в пределах  $0 - 2^\circ$ . Это достигается соответствующими расчетами.

Расчеты вертикальной планировки производят на топографическом плане масштаба 1:500 или 1:1000. На план наносят сетку квадратов, которая в масштабе плана отвечает сетке квадратов на местности со сторонами 10, 20, 40 или 50 м. Определяют фактические высоты вершин квадратов относительно горизонталей на топографическом плане. Если произошло существенное нарушение земель или оседание пород, то исполнительный топографический план необходимо обновить, например, тахеометрической съёмкой. В случае достаточно ровной поверхности на открытой местности вертикальную съёмку территории рационально выполнять методом нивелирования по квадратам. Такой метод топографической съёмки наиболее соответствует задачам вертикальной планировки.

Рассмотрим пример решения этой задачи.

На местности была выполнена вертикальная съёмка участка нивелированием по квадратам.

Схема сетки, место установки нивелира (станции), месторасположение реперов показаны на схеме (рис. 3.1).

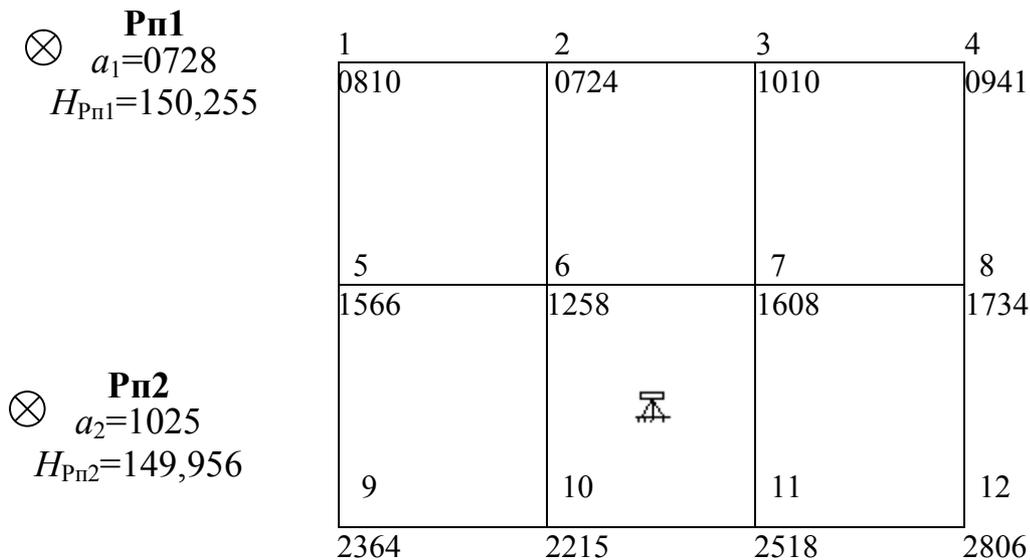


Рис. 3.1. Журнал-схема нивелирования по квадратам

При нивелировании рейку сначала ставим на реперы Рп 1 и Рп 2, затем на землю рядом с каждым колышком, обозначающим вершину квадрата, и каждый раз берем отсчеты по рейке. Отсчеты записываем на схему возле соответствующих вершин квадратов в журнал-схему (см. рис. 3.1). Порядок вычисления объемов земляных работ следующий:

1. Вычисляем отметки земли у вершин квадратов, для чего:

а) вычисляем дважды горизонт прибора (ГП) в м, который равен отметке репера  $H_{Рп}$  в м, плюс отсчет  $a$  по черной стороне рейки в м, установленной на этом репере. Значения  $ГП_1$  и  $ГП_2$  определяем по формулам

$$ГП_1 = H_{Рп1} + a_1; \quad ГП_2 = H_{Рп2} + a_2.$$

допустимое расхождение  $ГП_1 - ГП_2 = \pm 0,010$  м, а

$$ГП_{ср} = \frac{ГП_1 + ГП_2}{2}.$$

В нашем примере  $ГП_1 = 150,983$  м;  $ГП_2 = 150,981$  м;  $ГП_{ср} = 150,982$  м;

б) Вычисляем отметки земли вершин квадратов по формуле:

$$H_i = ГП - b_i,$$

где  $b_i$  - отсчет по рейке на соответствующей вершине квадрата.

Полученные отметки округляем до второго десятичного знака 0,01 м и записываем на картограмму земляных работ (рис.3.2).

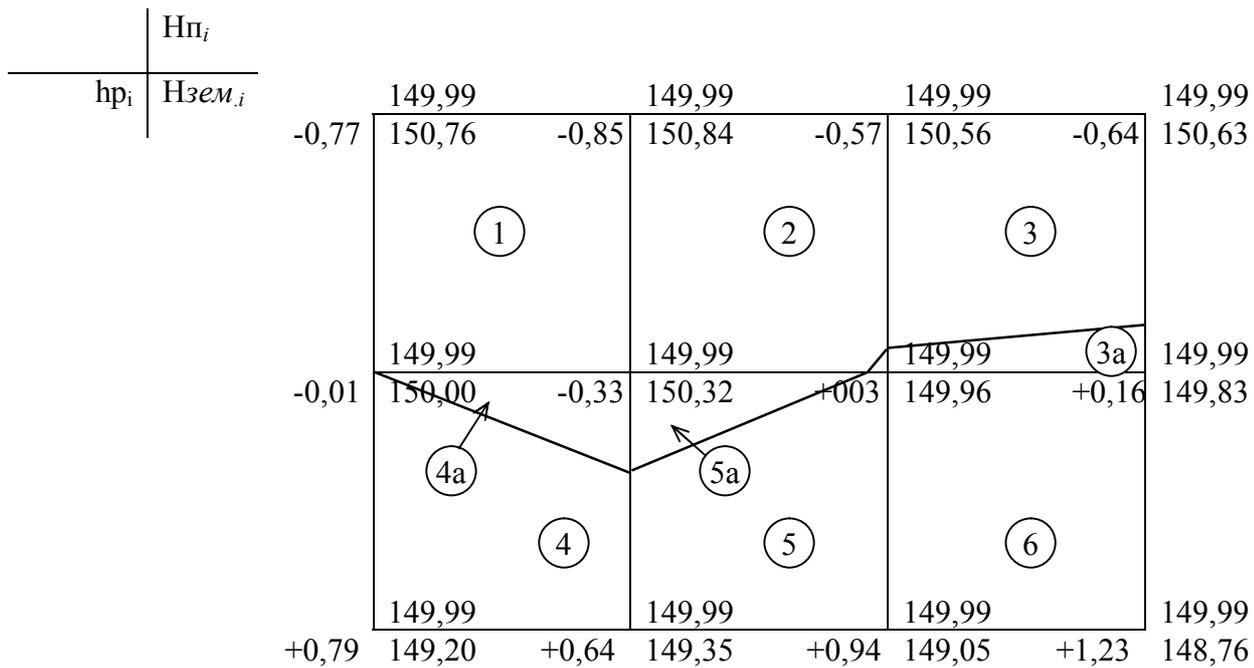


Рис 3.2. Фрагмент картограммы земляных работ

На основе журнала-схемы нивелирования составляется картограмма земляных работ, представляющая собой схему размещения на территории вертикальной планировки участков выемки, участков насыпи и числовых данных для расчета проектной поверхности искусственного рельефа и объемов земляных работ по выемке и насыпи.

2. Вычисляем проектную (среднюю) отметку горизонтальной плоскости площадки по формуле

$$H_{п} = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 3\sum H_3 + 4\sum H_4}{4n},$$

где  $H_{п}$  - проектная отметка. Для нашего примера  $H_{п} = 149,99$  м;

$\sum H_1$  - сумма отметок земли, входящих в один квадрат;

$\sum H_2$  - сумма отметок земли, входящих в два квадрата;

$\sum H_3$  - сумма отметок земли, входящих в три квадрата (в нашем примере отсутствует);

$\sum H_4$  - сумма отметок земли, входящих в четыре квадрата;

$n$  - число квадратов.

Вычисленную проектную отметку  $H_{\text{п}}$  указываем на картограмме земляных работ (см. рис.3.2) при каждой вершине сетки квадратов. Кроме того, возле каждой вершины квадрата записывают следующие данные:  $H_{\text{п}i}$  - отметку проектную;  $H_{\text{зем.}i}$  - отметку земли до планировки;  $h_{\text{р}i}$  - рабочую отметку (высоту насыпи или глубину выемки).

3. Вычисляем рабочую отметку, т. е. высоту насыпи или глубину выемки для каждой вершины сетки квадратов по формуле

$$h_{\text{р}i} = H_{\text{п}} - H_{\text{зем}},$$

где  $h_{\text{р}i}$  - рабочая отметка для вершин с номером  $i$ ;

$H_{\text{п}}$  - проектная (красная) отметка;

$H_{\text{зем}}$  - отметка земли (черная отметка).

Если рабочая отметка получена со знаком "+", то она выражает высоту насыпи, если со знаком "-", то глубину выемки грунта. Рабочие отметки записывают на картограмме (см. рис.3.2).

4. На картограмме для каждой вершины квадрата должны быть записаны отметка проектная, отметка земли и рабочая отметка (см. рис. 3.2).

**Примечание.** Отметки земли (черные отметки) на картограмме обозначить черным цветом, проектные и рабочие - красным.

5. Определяем местоположение точек нулевых работ. Указанные точки отмечаем на сторонах квадратов, между вершинами с противоположными знаками рабочих отметок. Расстояние от вершины квадрата до такой точки вычисляем по формуле

$$d_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2} b_{\text{к}},$$

где знаки рабочих отметок не учитываются;

$d_1$  - расстояние от вершины квадрата с рабочей отметкой  $h_1$  до точки нулевых работ;

$h_2$  - рабочая отметка противоположной вершины квадрата;

$d_{\text{к}}$  - длина стороны квадрата, в данном примере равна 10 м.

6. Расстояния  $d_1$  откладываем в масштабе картограммы на соответствующих сторонах квадратов, затем точки нулевых работ соединяем прямыми линиями и получаем линию нулевых работ (границу между зонами насыпи и выемки).

7. По картограмме земляных работ подсчитываем объем насыпей и выемок в каждом квадрате следующим образом:

а) нумеруем квадраты и геометрические фигуры (треугольники и трапеции), полученные в результате обозначения линий нулевых работ, и записываем их в картограмму земляных работ (см. рис 3.2);

б) определяем средние рабочие отметки вершин каждой фигуры и записываем их в таблицу объемов земляных работ. Если рассматриваемая фигура представляет четырехугольник, то средняя рабочая отметка вычисляется по формуле

$$h_{cp} = \frac{\sum h_i}{4},$$

где  $h_i$  - сумма рабочих отметок вершин четырехугольника.

Для фигуры с нулевыми рабочими отметками в формуле (3.5) учитываются соответствующие значения  $h_{раб} = 0$ .

Для фигуры треугольной формы

$$h_{cp} = \frac{\sum h_i}{3};$$

в) определяем площади пронумерованных фигур и записываем их значения в табл. 3.1 объемов земляных работ;

г) вычисляем объемы насыпи и выемки в каждой фигуре как произведение средней рабочей отметки и площади фигуры. Полученные значения объемов земли (в  $m^3$ ) округляем до целых чисел и записываем в табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3.1

| Номер квадрата или фигуры | Средняя рабочая отметка, м | Площадь, м <sup>2</sup> | Объемы, м <sup>3</sup> |                 |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|
|                           |                            |                         | насыпи<br>$V_H$        | выемки<br>$V_B$ |
| 1                         | -0,49                      | 400                     |                        | 196             |
| 2                         | -0,43                      | 400                     |                        | 172             |
| 3                         | 0,06                       | 40                      | 2,4                    |                 |
| 3 а                       | -0,30                      | 360                     |                        | 108             |
| 4                         | 0,36                       | 333                     | 119,88                 |                 |
| 4 а                       | -0,11                      | 67                      |                        | 7,37            |
| 5                         | 0,40                       | 333                     | 133,2                  |                 |
| 5 а                       | -0,11                      | 67                      |                        | 6,7             |
| 6                         | 0,59                       | 400                     | 236                    |                 |
|                           |                            | $\Sigma$                | 491,48                 | 490,07          |

д) составляем общий баланс земляных работ: находим суммы объемов земли (в м<sup>3</sup>) всех насыпей  $\Sigma V_H$  и выемок  $\Sigma V_B$  и балансовую разность  $\Delta V = \Sigma V_H - \Sigma V_B$ ;

е) вычисляем погрешность баланса (в %) по формуле

$$\Delta = \frac{\Sigma V_H - \Sigma V_B}{\Sigma V_H + \Sigma V_B} 100\%,$$

где  $\Sigma V_H$  - сумма объемов насыпей в м<sup>3</sup>;

$\Sigma V_B$  - сумма объемов выемок в м<sup>3</sup>.

$$\Delta = \frac{1,41}{981,55} \cdot 100\% = 1,4\%;$$

в) сравниваем полученную погрешность с допустимой:  $\Delta < 5\%$ .

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО И ВЕРТИКАЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ РЕПЕРОВ ПРОФИЛЬНОЙ ЛИНИИ И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ОСАДК

При извлечении полезного ископаемого изменяется геостатическое равновесие горных пород, возникает их смещение, в частности оседание земной поверхности над горными выработками.

Неравномерная осадка земной поверхности может вызвать повреждения или разрушение сооружений, находящихся в зоне влияния горных разработок.

Для решения задач защиты сооружений от вредного влияния горных разработок в каждом конкретном случае необходимо знать числовые значения элементов процесса смещения. С этой целью проводятся геодезические и спутниковые измерения смещений земной поверхности, наблюдения за осадкой и деформациями сооружений для своевременного установления необходимости изменения характера эксплуатации сооружений и разработки мероприятий по предотвращению их разрушения.

В настоящее время вертикальные движения земной поверхности над разрабатываемыми территориями определяют высокоточным нивелированием осадочных реперов и спутниковыми приборами, горизонтальные смещения реперов – стальными рулетками, светодальномерами и спутниковыми методами.

Репера устанавливают в приповерхностном слое земли по профильным линиям над и за пределами зоны извлечения твердых и жидких полезных ископаемых.

На специальных станциях в период начальной и активной стадий процесса смещения наблюдения проводятся не реже трех раз в месяц, в период затухания - не реже одного раза в месяц.

Вертикальные и горизонтальные составляющие смещений реперов вычисляются как приращения высотной и плановой координаты репера в данном цикле измерений относительно соответствующей координаты в начальном цикле.

В подавляющем большинстве случаев вертикальные смещения направлены вниз вследствие оседания земной поверхности.

Графическое представление результатов наблюдений дается на соответствующих графиках смещений (вертикальных и горизонтальных).

Пример вычисления горизонтальных и вертикальных смещений реперов по продольной линии *D-36* и составления графика оседаний рассмотрим на основе исходных данных, приведенных в табл. 4.1.

| Номер репера | Наблюдения<br>16.05.2004 г. |                         | Наблюдения<br>22.09.2004 г. |                         |
|--------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
|              | Отметки реперов $H$ , м     | Длина интервала $d$ , м | Отметки реперов $H$ , м     | Длина интервала $d$ , м |
| $D$          | 431,583                     |                         | 431,583                     |                         |
|              |                             | 52,186                  |                             | 52,186                  |
| 31           | 431,405                     |                         | 431,400                     |                         |
|              |                             | 10,083                  |                             | 9,453                   |
| 32           | 431,208                     |                         | 431,103                     |                         |
|              |                             | 9,436                   |                             | 10,087                  |
| 33           | 430,967                     |                         | 430,751                     |                         |
|              |                             | 10,183                  |                             | 10,215                  |
| 34           | 430,810                     |                         | 430,463                     |                         |
|              |                             | 10,087                  |                             | 10,104                  |
| 35           | 430,944                     |                         | 430,518                     |                         |
|              |                             | 10,020                  |                             | 10,007                  |
| 36           | 431,162                     |                         | 430,778                     |                         |

По данным табл. 4.1 требуется:

- определить горизонтальные смещения реперов вдоль створа;
- найти вертикальные смещения реперов;
- построить график оседаний.

Решение.

1. Горизонтальные смещения реперов вдоль створа вычисляем в табл. 4.2 как разность расстояний от опорного репера  $D$  до каждого репера на разные даты наблюдений. По результатам наблюдений составляем схему профильной линии (рис.4.1).

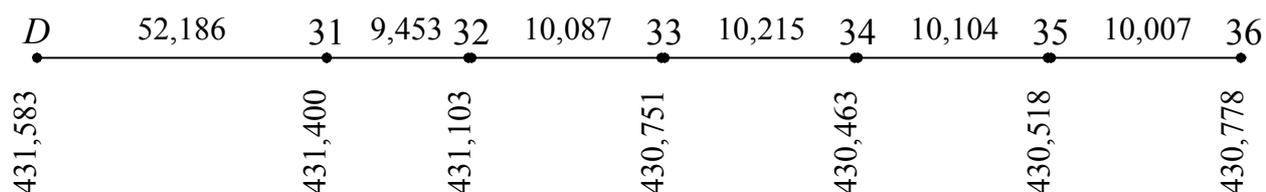


Рис. 4.1. Схема профильной линии  $D$ -36 с результатами наблюдений на 22.09.2004 г.

Т а б л и ц а 4.2

| Номер репера | Расстояние от опорного репера |                               | Горизонтальные смещения, мм |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|              | На 16.05.2004 г.<br>$d_0$ , м | На 22.09.2004 г.<br>$d_1$ , м |                             |
| D            |                               |                               |                             |
|              | 52,186                        | 52,186                        | 00                          |
| 31           |                               |                               |                             |
|              | 62,269                        | 62,271                        | +2                          |
| 32           |                               |                               |                             |
|              | 71,705                        | 71,718                        | +13                         |
| 33           |                               |                               |                             |
|              | 81,888                        | 81,931                        | +43                         |
| 34           |                               |                               |                             |
|              | 91,975                        | 92,036                        | +61                         |
| 35           |                               |                               |                             |
|              | 101,995                       | 102,039                       | +44                         |
| 36           |                               |                               |                             |

2. Вертикальные смещения реперов определяем как разность отметок реперов на разные даты наблюдений (табл. 4.3).

Т а б л и ц а 4.3

| Номер репера | Расстояние от опорного репера |                               | Вертикальные смещения, мм |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
|              | На 16.05.2004 г.<br>$d_0$ , м | На 22.09.2004 г.<br>$d_1$ , м |                           |
| 31           | 431,405                       | 431,400                       | - 5                       |
| 32           | 431,208                       | 431,103                       | -105                      |
| 33           | 430,967                       | 430,751                       | -216                      |
| 34           | 430,810                       | 430,463                       | -347                      |
| 35           | 430,944                       | 430,518                       | -426                      |
| 36           | 431,162                       | 430,778                       | -384                      |

3. Для построения графика оседания реперов по створу D-36 (рис.4.2) прочерчиваем горизонтальную линию и в масштабе, удобном для рассмотрения, откладываем горизонтальные проложения интервалов.

Надписываем номера реперов. По вертикали вниз от соответствующих реперов (обычно в масштабе 1:10 или 1:50) откладываем величины оседаний.

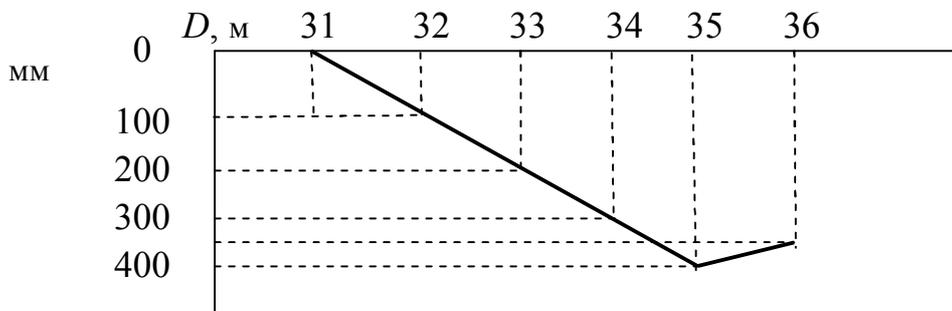
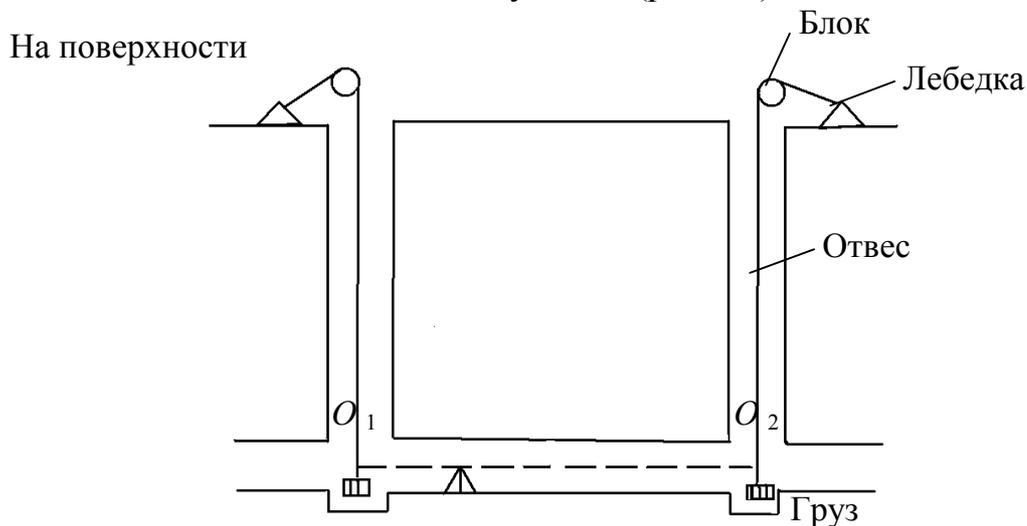


Рис. 4.2. График оседания реперов

## 5. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ СЪЕМКИ ЧЕРЕЗ ДВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТОЛА С ПОМОЩЬЮ ОТВЕСОВ

Сущность ориентирования через два вертикальных шахтных ствола с помощью отвесов заключается в следующем (рис.5.1).



В шахте

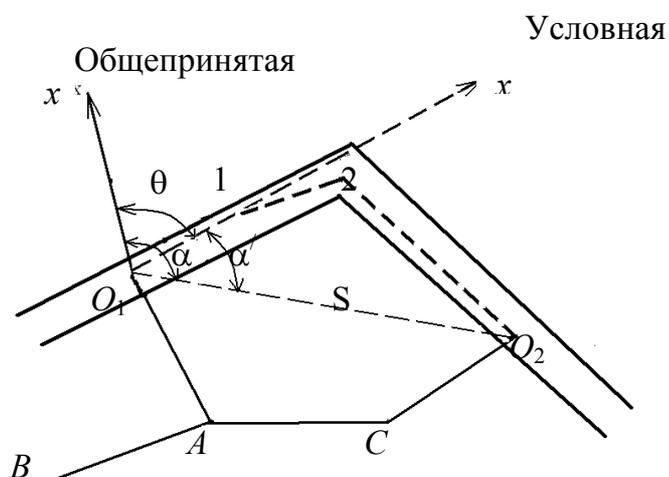


Рис.5.1 . Схема ориентирования подземной выработки

В каждый из двух шахтных стволов, соединенных под землей удобными для прокладки теодолитных ходов выработками, опускают по одному отвесу ( $O_1$  и  $O_2$ ). На поверхности от пунктов  $B, A, C$  триангуляции (или полигонометрии) прокладывают к отвесам теодолитный ход ( $m_{\beta} \leq 10''$ ) и определяют их координаты в принятой на поверхности системе координат  $(X_{O_1}, Y_{O_1}, X_{O_2}, Y_{O_2})$ . Получив координаты отвесов, вычисляют дирекционный угол  $(O_1O_2)$  створа отвесов  $(O_1O_2)$  по формуле

$$\alpha_{O_1-O_2} = \operatorname{arctg} \frac{Y_{O_2} - Y_{O_1}}{X_{O_2} - X_{O_1}} \quad (5.1)$$

и горизонтальное проложение между отвесами

$$d_{O_1-O_2} = \sqrt{(X_{O_2} - X_{O_1})^2 + (Y_{O_2} - Y_{O_1})^2}. \quad (5.2)$$

Затем в шахте на ориентируемом горизонте между отвесами  $O_1$  и  $O_2$  прокладывают теодолитный ход 1-го разряда ( $m_{\beta} \leq 20''$ )  $O_1-1-2-O_2$  по выработкам, соединяющим стволы, от отвеса  $O_1$  к отвесу  $O_2$ . Один из отвесов ( $O_1$ ) принимается за начало условной системы координат подземной съемки, а направление с отвеса на первый пункт подземной съемки  $O_1'-1$  – за ось  $X'$  условной системы координат. Тогда

$$X'_{O_1} = Y'_{O_1} = 0,$$

$$\alpha'_{O_1-O_2} = 0^\circ 00' 00''.$$

Вычисляем в условной системе координат координаты подземных точек  $O_1, 1, 2, O_2$  и дирекционный угол  $(O_1O_2)'$  между отвесами по формуле

$$\alpha'_{O_1-O_2} = \operatorname{arctg} \frac{Y'_{O_2} - Y'_{O_1}}{X'_{O_2} - X'_{O_1}} = \frac{Y'_{O_2}}{X'_{O_2}} \quad (5.3)$$

и горизонтальное проложение

$$d'_{O_1-O_2} = \sqrt{(X'_{O_2} - X'_{O_1})^2 + (Y'_{O_2} - Y'_{O_1})^2}. \quad (5.4)$$

Для контроля ориентировки сравнивают расстояния  $d_{O_1-O_2}$  и  $d'_{O_1-O_2}$ , вычисленные по формулам (5.2) и (5.4).

Исходный  $(O_1O_2)$  и условный  $(O_1O_2)'$  дирекционные углы створа отвеса различаются на некоторый угол  $\theta$ :

$$\theta = \alpha_{O_1-O_2} - \alpha'_{O_1-O_2}.$$

Прибавляя угол  $\theta$  к дирекционному углу начальной стороны подземной съемки, получают ее дирекционный угол в системе, принятой на поверхности:

$$\alpha_{O_1-O_2} = \alpha'_{O_1-O_2} + \theta.$$

Поскольку мы приняли условно дирекционный угол первой стороны  $(O_1-1)$  равным нулю, то угол  $\theta$  и будет ее дирекционным углом.

Зная дирекционный угол  $\alpha_{O_1-O_2}$  и координаты отвеса  $O_1$ , перевычисляют координаты всех пунктов подземной съемки из условной системы в систему координат, принятую на поверхности.

**К о н т р о л ь о р и е н т и р о в а н и я.** Так как координаты отвеса  $O_1$  получены в единой системе координат на поверхности  $X_{O_{1п}}$ ,  $Y_{O_{1п}}$  и в шахте  $X_{O_{1ш}}$ ,  $Y_{O_{1ш}}$ , то абсолютную линейную невязку определяют составляющие по осям  $X$  и  $Y$ :

$$fx = X_{O_{1п}} - X_{O_{1ш}},$$

$$fy = Y_{O_{1п}} - Y_{O_{1ш}}.$$

Отсюда абсолютная невязка хода:

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2},$$

ее относительная величина:

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{D}.$$

Погрешность определения дирекционного угла первой стороны подземной съемки не должна превышать  $m_\alpha \leq 1'$ . Это условие выполняется, когда

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{D} = \text{tg } 1' \leq \frac{1}{3820}.$$

Решение этой задачи рассмотрим на примере.

Исходные данные:

$$X_{O_1} = 1095,865 \text{ м}; Y_{O_1} = 947,946 \text{ м};$$

$$X_{O_2} = 1015,000 \text{ м}; Y_{O_2} = 1015,000 \text{ м};$$

$$\beta_1 = 124^\circ 13'; \beta_2 = 129^\circ 19';$$

$$d_1 = 38,089 \text{ м}; d_2 = 56,106 \text{ м}; d_3 = 43,409 \text{ м}.$$

Порядок решения следующий:

1. Вычисление дирекционного угла  $\alpha_{O_1-O_2}$  и расстояния  $d_{O_1-O_2}$  на поверхности:

$$\alpha_{O_1-O_2} = \text{arctg} \frac{Y_{O_2} - Y_{O_1}}{X_{O_2} - X_{O_1}} = 140^\circ 20' 03'';$$

$$d_{O_1-O_2} = \sqrt{(X_{O_2} - X_{O_1})^2 + (Y_{O_2} - Y_{O_1})^2} = 105,049 \text{ м}.$$

2. Вычисление координат  $O_1'$  и  $O_2'$  в условной системе координат (табл.5.1).

Т а б л и ц а 5.1

| Номер точки стояния | Правые $\beta$  | Дирекц. угол $\alpha$ | $d$ , м | Приращения координат, м |             | Координаты, м |        |
|---------------------|-----------------|-----------------------|---------|-------------------------|-------------|---------------|--------|
|                     |                 |                       |         | $\Delta X'$             | $\Delta Y'$ | $X'$          | $Y'$   |
| $O_1$               |                 |                       |         |                         |             | 0,000         | 0,000  |
|                     |                 | $0^\circ 00'$         | 38,089  | 38,089                  | 0,000       |               |        |
| 1                   | $124^\circ 13'$ |                       |         |                         |             | 38,089        | 0,000  |
|                     |                 | $55^\circ 47'$        | 56,106  | 31,550                  | 46,395      |               |        |
| 2                   | $129^\circ 19'$ |                       |         |                         |             | 69,639        | 46,395 |
|                     |                 | $106^\circ 28'$       | 43,409  | - 12,305                | 41,628      |               |        |
| $O_2$               |                 |                       |         |                         |             | 57,334        | 88,023 |

3. Вычисление дирекционного угла  $\alpha_{O_1-O_2}$  линии, соединяющей отвесы и расстояния между отвесами в условной системе координат  $d'_{O_1-O_2}$

$$\alpha_{O_1-O_2} = \text{arctg} \frac{Y'_{O_2} - Y'_{O_1}}{X'_{O_2} - X'_{O_1}} = 56^\circ 55' 18'';$$

$$d_{O_1-O_2} = \sqrt{(X'_{O_2} - X'_{O_1})^2 + (Y'_{O_2} - Y'_{O_1})^2} = 105,049 \text{ м}.$$

4. Вычисление ориентирной поправки:

$$\theta = \alpha_{O_1-O_2} - \alpha'_{O_1-O_2} = 83^\circ 24' 45''.$$

5. Вычисление координат точек подземного теодолитного хода в системе координат поверхности (табл. 5.2).

| Номер точки стояния | Правые $\beta$ | Дирекц. угол $\alpha$ | $d$ , м | Приращения координат, м |            | Координаты, м |          |
|---------------------|----------------|-----------------------|---------|-------------------------|------------|---------------|----------|
|                     |                |                       |         | $\Delta X$              | $\Delta Y$ | $X$           | $Y$      |
| $O_1$               |                |                       |         |                         |            | 1095,865      | 947,946  |
|                     |                | 83°24'45''            | 38,089  | 4,370                   | 37,838     |               |          |
| 1                   | 124°13'        |                       |         |                         |            | 1100,235      | 985,784  |
|                     |                | 139°11'45''           | 56,106  | - 42,469                | 36,664     |               |          |
| 2                   | 129°19'        |                       |         |                         |            | 1057,766      | 1022,448 |
|                     |                | 189°52'45''           | 43,409  | - 42,765                | - 7,448    |               |          |
| $O_2$               |                |                       |         |                         |            | 1015,001      | 1015,000 |

## 6. ГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ ПЛАСТА

Линейные и угловые величины, позволяющие составить наглядное геометрическое представление о форме залегания и положении в недрах залежи полезного ископаемого, называются элементами залеганий.

Элементами залеганий месторождения полезных ископаемых являются: угол простирания (простирание), линия простирания, угол падения (падение), линия падения, глубина залегания, мощность.

Углом простирания называют угол, отсчитываемый от положительного направления оси  $X$  по ходу часовой стрелки до направления линии простирания (рис.6.1, а).

Линия простирания - это линия пересечения горизонтальной плоскости с кровлей или почвой залежи полезного ископаемого. Каждая из горизонталей залежи (см. рис. 6.1, а) есть линия простирания; за направление ее принимают то, от которого падение залежи направлено вправо.

Угол простирания в разных точках месторождения в большинстве случаев не одинаков, так как линия простирания, как правило, криволинейна. Поэтому угол простирания  $\alpha_k$  (см. рис.6.1, а) не равен углу простирания  $\alpha_c$  в точке  $C$ . Если месторождение представлено на плане веерообразными складками, то величина угла простирания колеблется в значительных пределах.

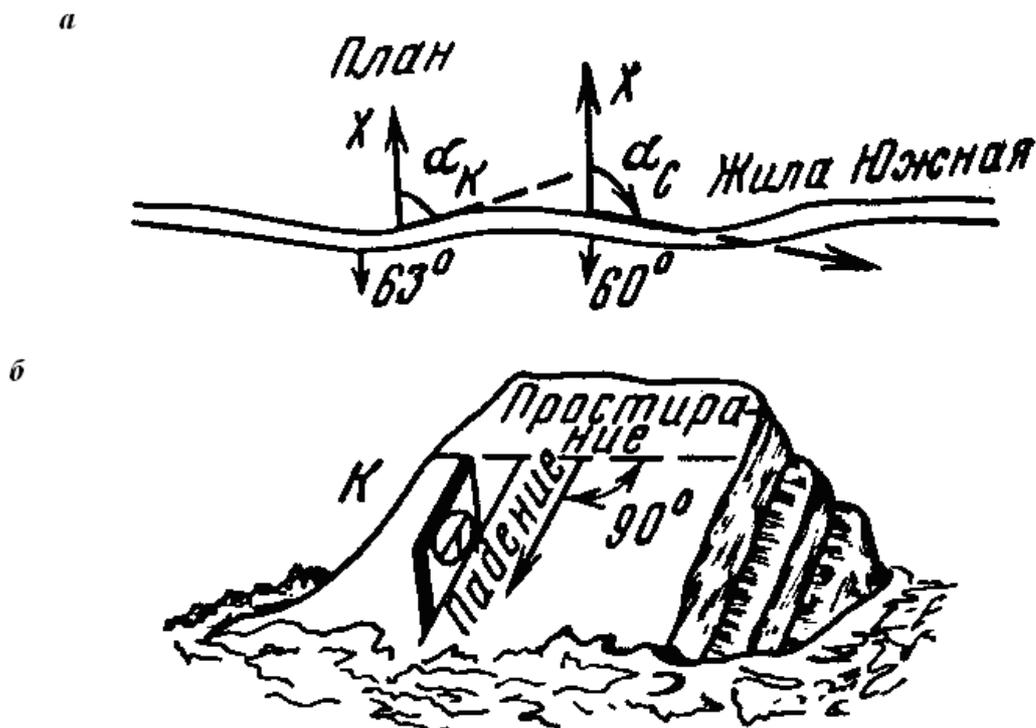


Рис.6.1. Схема залегания пласта:

а - величина угла простираения в разных точках; б - направление линии падения пласта

Линия падения – это линия наибольшего ската кровли или почвы залежи. Линия падения (рис. 6.1, б) всегда перпендикулярна к линии простираения. Эта перпендикулярность сохраняется и в проекции на горизонтальную плоскость.

Углом падения  $\delta$  называют угол, образованный линией падения и ее проекцией на горизонтальную плоскость. Угол падения (см. рис. 6.1, б) также может быть разным по величине и направлению в разных точках залежи.

Глубина залегания  $h$  - это расстояние по вертикали от поверхности до кровли залежи полезного ископаемого.

Мощностью  $m$  называют кратчайшее расстояние между боковыми поверхностями залежи. В зависимости от направления, по которому измеряют мощность, выделяют различные виды мощности: нормальную, горизонтальную, вертикальную и мощность по некоторому направлению (косую).

Между мощностями существуют определенные математические зависимости:

$$m_H = m_T \sin \delta;$$

$$m_H = m_B \cos \delta;$$

$$m_B = m_T \operatorname{tg} \delta.$$

где  $m_n$  - нормальная мощность в метрах;

$m_b$  - вертикальная мощность в метрах;

$m_r$  - горизонтальная мощность в метрах;

$\delta$  - угол падения.

Элементы залегания могут быть определены непосредственным их измерением по обнажениям залежи на земной поверхности или в горных выработках и косвенным путем по данным разведочных скважин и геофизических измерений. При непосредственном измерении пользуются висячей буссолью или горным компасом.

Рассмотрим на примере косвенный способ определения элементов залегания пласта по данным трех скважин 1, 2, 3.

Исходные данные:

$$H_1 = 298,0 \text{ м};$$

$$H_3 = 237,5 \text{ м};$$

$$H_2 = 315,5 \text{ м};$$

$$m_b = 2,6 \text{ м}.$$

Порядок определения элементов залегания пласта следующий:

1. Скважины по координатам наносят на план и около них выписывают их высотные отметки.

2. Интерполированием на стороне между скважинами с меньшей и большей отметками находят точку с отметкой, равной отметке третьей скважины, и отмечают точку  $K$ . Для этого составляют пропорцию:

$$\frac{|h_{2-3}|}{d_{2-3}} = \frac{|h_{1-3}|}{x_{1-k}},$$
$$x_{1-k} = \frac{d_{2-3} \cdot |h_{1-3}|}{|h_{2-3}|},$$

где  $d_{2-3}$  и  $h_{2-3}$  - расстояние и превышение между точками 2 и 3;

$h_{1-3}$  - превышение между точками 1 и 3;

$x_{1-k}$  - искомое положение точки  $K$ .

В рассматриваемом примере на стороне между скважинами 2 и 3 с отметками 315,5 м и 237,5 м находим отметку, равную отметке скважины 1, т.е. 298,0 м. Это и будет точка  $K$  (рис.6.2).

3. Соединив точку  $Скв1$  с точкой  $K$ , получают *линию простирания пласта*.

4. Перпендикуляр к ней, направленный в сторону с меньшей отметкой (237,5), есть линия падения пласта, азимут  $\alpha$  которой измеряют транспортиром.

$$\alpha = 185^\circ$$

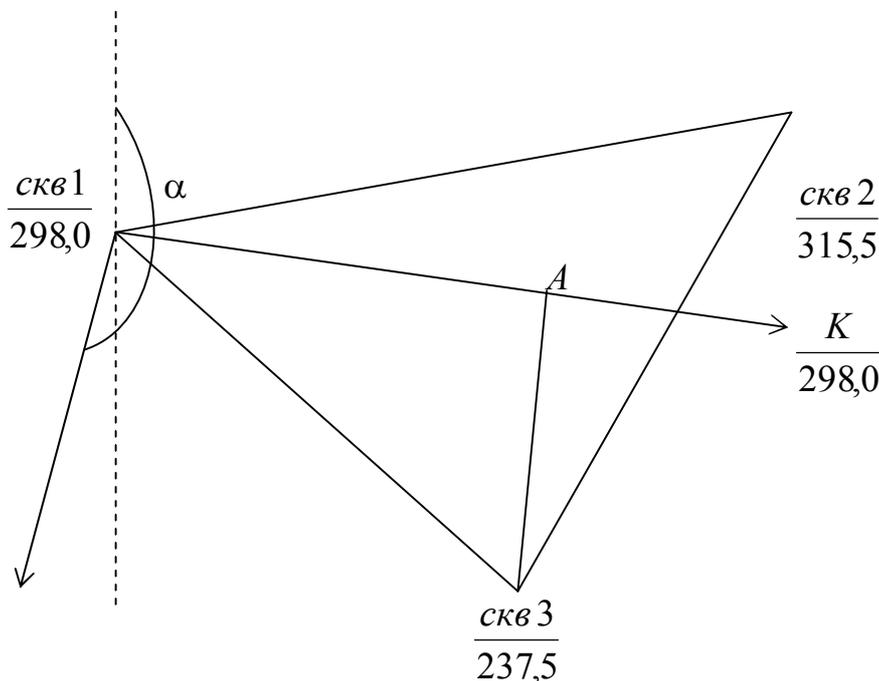


Рис. 6.2. Схема определения элементов залегания

5. Для определения угла падения пласта на линию простирания пласта проектируют под прямым углом скважину с меньшей отметкой - скважину 3 (237,5) и получают точку  $A$ .

Далее строим профиль (рис. 6.3). Для этого:

- откладываем отрезок  $1-A$ ;
- проводим перпендикуляр к отрезку

$1-A$ , на котором в масштабе плана откладываем превышение между скважинами с меньшими отметками (Скв 1 и Скв 3), т.е.  $h = 60,5$  м, и получаем точку  $A'$ ;

- соединяем  $A$  и  $A'$ . Угол при точке  $A$  и есть искомый угол падения пласта  $\delta = 36^\circ 00'$ .

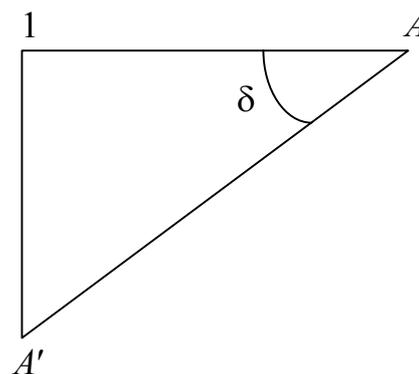


Рис. 6.3. Схема определения угла падения пласта в профиле

6. Угол падения пласта  $\delta$  можно также определить по формуле

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{h_{1-3}}{l_{3-A}} = 36^\circ 05',$$

где  $l_{3-A} = 83$  м - расстояние в масштабе плана между *Скв 3* и точкой *А*.

7. Нормальная мощность пласта определяется по формуле

$$m_n = m_b \cos \delta = 2,6 \cos 36^\circ 05' = 2,1 \text{ м.}$$

## **7. ГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КООРДИНАТ БРОВOK УСТУПА КАРЬЕРА ПО НАЗЕМНЫМ СНИМКАМ НОРМАЛЬНОГО СЛУЧАЯ СЪЕМКИ**

Условия открытых горных разработок позволяют применить для создания графической маркшейдерской и геологической документации карьеров, а также для изучения оползневых и других явлений, связанных с открытыми разработками, стереофотограмметрическую наземную съемку.

Стереофотограмметрическая съемка имеет ряд преимуществ перед другими видами съемки:

- минимальный период времени, затрачиваемый на полевые работы;
- съемкой охватываются все видимые объекты, в том числе и неприступные места для обычной наземной съемки;
- возможность определения фотограмметрических координат точек для рабочего обоснования тахеометрической съемки;
- возможность определения углов падения и простирания пластов и пород в натуре, так как они могут быть измерены по материалам стереофотограмметрической съемки; эти материалы дают возможность определить элементы залегания не на малых участках, а на всем протяжении видимого на фотоснимке обнажения.

Наземная фотограмметрическая съемка производится при помощи фототеодолита. При наземной стереосъемке, дающей стереоскопическое (объемное) изображение, фотографирование местности производится с двух установок фототеодолита, расстояние между которыми называется базисом фотографирования  $B$  (рис.7.1). Съемка ведется, как правило, при параллельном положении в горизонтальной плоскости оптических осей фотокамеры. В случае нормальной съемки оптические оси ориентируют перпендикулярно базису  $B$ .

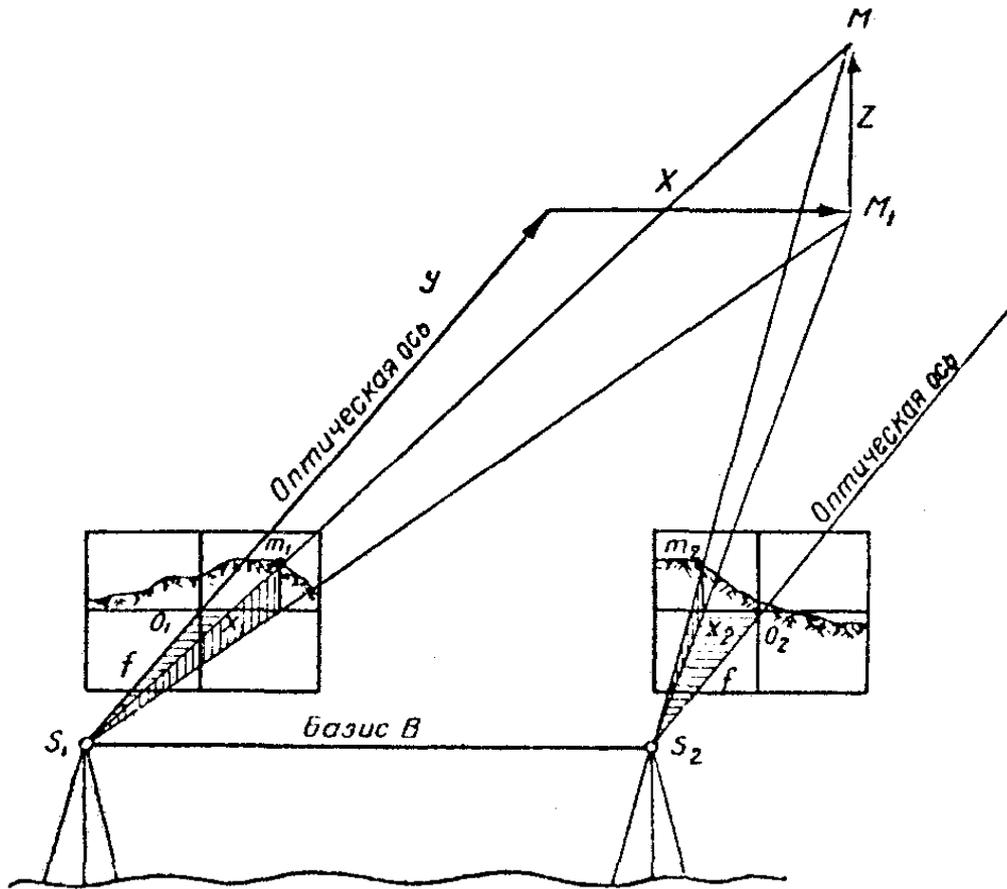


Рис.7.1. Схема стерефотосъемки

На рис.7.1 показана геометрическая схема наземной стереофотограмметрической съемки, из которой следует, что

$$\frac{X}{x_1} = \frac{Z}{z_1} = \frac{Y}{f}, \quad (7.1)$$

где  $X, Y, Z$  - пространственные координаты точки  $M$ , начало которых совпадает с центром объектива левого снимка, причем ось  $Y$  служит оптической осью камеры;

$x_1$  и  $z_1$  - координаты изображения точки  $M$  на левом фотоснимке относительно главной вертикали и горизонтали;

$f$  - фокусное расстояние камеры.

Легко доказать, что

$$\frac{Y}{f} = \frac{B}{p}, \quad (7.2)$$

где  $p = x_1 - x_2$  - разность абсцисс изображений точки  $M$  на левом и правом снимках, называемая продольным параллаксом точки  $M$ .

Сопоставляя приведенные равенства, можно записать формулы для получения фотограмметрических координат  $X_\phi$ ,  $Y_\phi$ ,  $Z_\phi$  по измеренным на фотоснимках координатам  $x_1$ ,  $z_1$ , параллаксу  $p$  и фокусному расстоянию фотокамеры  $f$

$$X_\phi = \frac{B X_1}{X_1 - X_2}; \quad (7.3)$$

$$Y_\phi = \frac{B f}{X_1 - X_2}; \quad (7.4)$$

$$Z_\phi = \frac{B Z_1}{X_1 - X_2}. \quad (7.5)$$

Для геодезических координат точки  $M$  можно записать:

$$\begin{aligned} X_\Gamma &= X_0 + \Delta X; \\ Y_\Gamma &= Y_0 + \Delta Y; \\ Z_\Gamma &= Z_0 + Z_\phi; \end{aligned} \quad (7.6)$$

где  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  - геодезические координаты левой точки базиса  $S_1$ ;

$\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  - приращения геодезических координат точки  $M$  относительно точки  $S_1$ .

Приращения геодезических координат точки  $M$  относительно точки  $S_1$  выразятся следующими формулами:

$$\begin{aligned} \Delta X &= X_\phi \cos \alpha - Y_\phi \sin \alpha; \\ \Delta Y &= Y_\phi \cos \alpha + X_\phi \sin \alpha. \end{aligned}$$

$X_\phi$ ,  $Y_\phi$  - фотограмметрические координаты точки;

$\alpha$  - дирекционный угол оси фотокамеры.

При выполнении съемки каждая стереопара обеспечивается контрольными точками, которые используются при камеральной обработке для исключения влияния погрешностей внешнего ориентирования снимков.

Методика определения координат точек, найденных фотограмметрическим способом:

1. Со стереопары с помощью измерителя и масштабной линейки снимаем координаты точек  $X_\Gamma$ ,  $Y_\Gamma$ ,  $Z_\Gamma$ .

2. По формулам (7.3) - (7.5) вычисляем фотограмметрические координаты данной точки.

3. По формулам (7.6) от фотограмметрических координат переходим к геодезическим.

Рассмотрим пример вычисления геодезических координат точки, определенной фотограмметрическим способом (табл.7.1).

Исходные данные:

$$B = 88,68 \text{ м}, f = 194,65 \text{ мм}, \alpha = 197^\circ 22' 36''$$

$$X_0 = 5370,77 \text{ м}, Y_0 = 2808,39 \text{ м}, Z_0 = 132,69 \text{ м}.$$

Т а б л и ц а 7.1

| Номер точки | Исходные данные, мм |       |       |                 | Фотограмметрические координаты |          |          | $X_\phi \sin \alpha$                                     | $Y_\phi \sin \alpha$ | $\Delta X$         | Геодезические координаты |                    |        |
|-------------|---------------------|-------|-------|-----------------|--------------------------------|----------|----------|--|----------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|--------|
|             | $X_1$               | $Z_1$ | $X_2$ | $P = X_1 - X_2$ | $X_\phi$                       | $Y_\phi$ | $Z_\phi$ | $X_\phi \cos \alpha$                                     | $Y_\phi \cos \alpha$ | $\Delta Y$         | $X_\Gamma$               | $Z_\Gamma$         |        |
| 1           | -14,2               | 7,6   | -42,2 | 28              | - 44,97                        | 616,48   | 24,07    | $\cos \alpha = -0,9543620$<br>$\sin \alpha = -0,2986522$ | 42,92<br>13,43       | -184,11<br>-588,34 | 227,03<br>-574,91        | 5597,80<br>2233,48 | 156,76 |

## Литература

1. *Борщ-Компониец В.И.* Геодезия. Маркшейдерское дело. – М.: Недра, 1989.
2. Основы геодезии и маркшейдерского дела /Под ред В.А.. Букринского. – М.: Недра, 1989.
3. *Купчинов И.И.* Геодезия при крупном промышленном строительстве. – М.: Геодезиздат, 1957.
4. *Маслов А.В., Гордеев. А.В.* Геодезия. – М.: Недра, 1972.
5. *Мурашев А.Н., Поляков А.К.* Сборник задач по маркшейдерскому делу. – М.: Углетехиздат, 1957.
6. *Нестеренок М.С.* Инженерная геодезия. – Мн.: Выш. школа, 1986.
7. *Рудаков М.Л., Гусев Н.А., Филатов С.А.* Маркшейдерские работы на карьерах. – Свердловск: Metallurgizdat, 1957.
8. *Селиханович В.Г.* Геодезия. – Ч. 2. – М.: Недра, 1981.
9. *Ушаков И.Н.* Маркшейдерское дело: – В 2 ч. – М.: Недра, 1989.
10. *Чижмаков А.Ф., Чижмакова А.М.* Геодезия. – М.: Недра, 1975.
11. *Шерстнев Д.С., Федоров Б.Д.* Основы геодезии и маркшейдерского дела. – М.: Углетехиздат, 1955.
12. Техническая инструкция по производству маркшейдерских работ. – М.: Недра, 1987.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| В в е д е н и е . . . . .   | 3  |
| 1. ПРИВЯЗКА ПУНКТОВ СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ В ПЛАНЕ К ПУНКТАМ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ УГЛОВЫМИ ЗАСЕЧКАМИ. . . . .                     | 3  |
| 1.1. Привязка методом обратной угловой засечки. . . . .   | 6  |
| 1.2. Контроль положения пункта, определенного обратной угловой засечкой. . . . .  | 8  |
| 1.3. Плановая привязка пункта методом прямой угловой засечки. . . . .   | 8  |
| 1.4. Оценка точности положения пункта, определенного прямой угловой засечкой. . . . .   | 10 |
| 2. ВЫЧИСЛЕНИЕ РАЗБИВОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ДЛЯ ВЫНОСА В НАТУРУ ОСИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ. . . . .  | 11 |
| 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПРИ ПЛАНИРОВКЕ ПОВЕРХНОСТИ ПОД ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ ПЛОЩАДКУ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ. . . . .  | 15 |
| 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО И ВЕРТИКАЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ РЕПЕРОВ ПРОФИЛЬНОЙ ЛИНИИ И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ОСАДОК. . . . .           | 20 |
| 5. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ СЪЕМКИ ЧЕРЕЗ ДВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛА С ПОМОЩЬЮ ОТВЕСОВ. . . . .                                     | 24 |
| 6. ГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ ПЛАСТА. . . . .  | 28 |
| 7. ГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КООРДИНАТ БРОВOK УСТУПА КАРЬЕРА ПО НАЗЕМНЫМ СНИМКАМ НОРМАЛЬНОГО СЛУЧАЯ СЪЕМКИ. . . . . | 32 |
| Л и т е р а т у р а . . . . .   | 36 |

Учебное издание

РАК Ирина Евгеньевна

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ  
ПРИ РАЗВЕДКЕ И ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Учебно-методическое пособие

для студентов специальности 1-51 02 01

«Разработка месторождений полезных ископаемых»

Редактор Е.И. Кортель

Компьютерная верстка А.Г. Гармазы

---

Подписано в печать 29.10.2004.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл.печ.л. 2,2. Уч.-изд.л. 1,7. Тираж 200.Заказ 876.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

Лицензия № 02330/0056957 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.