

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Инженерная геодезия»

## ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Лабораторный практикум  
для студентов специальности  
1-56 02 01 «Геодезия»

В 2 частях

Часть 1

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
высших учебных заведений по образованию  
в области горнодобывающей промышленности*

Минск  
БНТУ  
2016

УДК 528.5(076.5)  
ББК 26.12я7  
Г35

**С о с т а в и т е л ь**  
*Н. О. Куприенко*

**Р е ц е н з е н т ы :**  
*А. А. Топаз, И. Е. Рак*

**Г35** **Геодезические приборы** : лабораторный практикум для студентов специальности 1-56 02 01 «Геодезия» : в 2 ч. Ч. 1 / сост. Н. О. Куприенко. – Минск : БНТУ, 2016. – 76 с.  
ISBN 978-985-550-781-0 (Ч. 1).

Лабораторный практикум разработан в соответствии с типовой программой по предмету «Геодезия» и предназначен для закрепления теоретических знаний по разделу «Геодезические высокоточные приборы и инструменты», приобретения исходных практических навыков по математической и графической обработке материалов соответствующих видов работ.

Издание предназначено для студентов 2-го курса специальности 1-56 02 01 «Геодезия».

**УДК 528.5(076.5)**  
**ББК 26.12я7**

**ISBN 978-985-550-781-0 (Ч. 1)**  
**ISBN 978-985-550-782-7**

© Белорусский национальный  
технический университет, 2016

## Лабораторная работа № 1

### ПОВЕРКИ НИВЕЛИРОВ И РЕЕК. ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ

**Приборы и принадлежности:** нивелиры НЗ (НЗКЛ), рейки трехметровые сплошные, контрольный метр (жневская линейка).

**Задание:** ознакомиться с приборами и правилами обращения с ними; выполнить поверки и юстировки нивелиров и реек; исследование реек; нивелирование III класса замкнутого четырехугольника (журнал представлен в приложении).

#### Ход работы

В журнале на каждой станции должен выполняться следующий контроль.

1. Расхождения между полусуммой отсчетов по дальномерным штрихам на черной стороне каждой рейки  $[(2) + (3)] / 2$  и  $[(5) + (6)] / 2$  и отсчетами по среднему штриху той же рейки (1) и (4) не должны превышать 3 мм. Этот контроль делается в уме и нигде не записывается.

2. Высота визирного луча определяется путем отсчета по среднему штриху по черным сторонам реек: записи (1) и (4).

3. Вычисление неравенства плеч как  $(9) - (10) = 7$  мм (в примере).

4. Расхождения в превышениях, полученных по черным (14) и красным (15) сторонам реек, с учетом разности пятков не должны превышать 3 мм.

5. Разности высот нулей реек (16) и (17) не должны отличаться от определенных при испытаниях более чем на 3 мм.

6. Полусумма контрольных превышений на станции  $[(11) + (12)] / 2$  не должна отличаться от среднего превышения (19), полученного по отсчетам по средней нити, более чем на 3 мм.

### Пример заполнения журнала нивелирования III класса

| № станций,<br>№ реек   | Наблюдения по дальномерным нитям |                | Контрольное превышение, мм | Наблюдение по средней нити          |                |  | Среднее превышение, мм |
|------------------------|----------------------------------|----------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------|--|------------------------|
|                        | задняя рейка                     | передняя рейка |                            | задняя рейка                        | передняя рейка | превышение                                   |                        |
| 1<br>1–2               | 1603 (2)                         | 2128 (5)       | –525 (11)                  | 1405 (1)                            | 1933 (4)       | –528 (14)                                    | –528 (19)              |
|                        | 1206 (3)                         | 1738 (6)       | –532 (12)                  | 6188 (8)                            | 6616 (7)       | –428 (15)                                    |                        |
|                        | 397 (9)                          | 390 (10)       | +7/+7 (13)                 | 4783 (16)                           | 4683 (17)      | –100 (18)                                    |                        |
| .....                  |                                  |                |                            |                                     |                |  |                        |
| Контрольные вычисления | 397 (20)                         | 390 (21)       | –525 (22)<br>–532 (23)     | 7593 (24)<br>8549 (28)<br>–956 (29) | 8549 (25)      | –956 (26)<br>–100<br>–1056 (30)<br>–528 (31) | –528 (27)              |

Внизу страницы выполняются контрольные вычисления. Они заключаются в следующем.

1. Суммируют все (9),  $\Sigma(9) = (20)$ ; все (10),  $\Sigma(10) = (21)$ .
2. Суммируют все (11),  $\Sigma(11) = (22)$ ; все (12),  $\Sigma(12) = (23)$ .
3. Суммируют (1) и (8),  $\Sigma(1) + \Sigma(8) = (24)$ .
4. Суммируют (4) и (7),  $\Sigma(4) + \Sigma(7) = (25)$ .
5. Суммируют (14) и (15),  $\Sigma(14) + \Sigma(15) = (26)$ .
6. Суммируют (19),  $\Sigma(19) = (27)$ .

Контролем вычислений по странице служат равенства:

(21) – (20)  $\equiv$   $\Sigma(13)$  – накопление разности плеч по странице;

(29)  $\equiv$  (26) [(28) = (25); (24) – (28) = (29)];

(31)  $\equiv$  (27) [(30) = (26) + (разность пяток); (31) = (30) / 2].

В результате выполнения задания представляется отчет, который должен содержать нижеперечисленные пункты.

1. Технические характеристики нивелиров.
2. Поверки и юстировки нивелиров и реек:
  - поверка и юстировка установочного уровня;
  - поверка установки сетки нитей;
  - поверка и юстировка положения визирной линии;
  - поверка и юстировка установки уровней реек;
  - определение стрелки прогиба рейки.

### 3. Исследование реек:

- ошибки дециметровых делений;
  - определение средней длины одного метра рейки;
  - определение разности высот нулей реек.
4. Журнал нивелирования III класса (таблица).

## Лабораторная работа № 2

### УРАВНИВАНИЕ ОДИНОЧНОГО НИВЕЛИРНОГО ХОДА III КЛАССА

**Приборы и принадлежности:** калькулятор (компьютер).

**Задание:** выполнить обработку результатов нивелирного хода III класса, проложенного между марками стенных реперов II класса, отметки которых известны.

#### Ход работы

Схематический чертеж хода приведен на рис. 2.1, где показанные цифры соответствуют длинам секций ( $L$ ) в километрах. Для получения данных своего варианта длины секций следует изменить согласно номеру варианта.

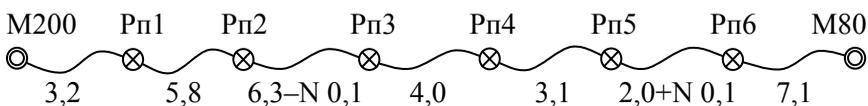


Рис. 2.1. Схема хода

На рисунке  $N$  – номер варианта.

В табл. 2.1 приведены величины измеренных превышений, в табл. 2.2 – отметки исходных пунктов по вариантам.

Таблица 2.1

## Измеренные превышения

| Номер<br>секции | Превышение прямое<br>$h_{пр}, \text{ м}$ | Превышение обратное<br>$h_{обр}, \text{ м}$ |
|-----------------|--|---|
| 1               | +15,322                                  | -15,333                                     |
| 2               | +8,213                                   | -8,2  |
| 3               | +10,911                                  | -10,921                                     |
| 4               | +13,135 + 0,001N                         | -13,146                                     |
| 5               | +0,715                                   | -0,701 - 0,001N                             |
| 6               | +0,916                                   | -0,906                                      |
| 7               | -12,593                                  | +12,593                                     |

Таблица 2.2

## Отметки исходных пунктов по вариантам, м

| №<br>варианта | $H_{M200}$ | $H_{M80}$ | №<br>варианта | $H_{M200}$ | $H_{M80}$ |
|---------------|------------|-----------|---------------|------------|-----------|
| 1             | 171,954    | 208,514   | 16            | 146,585    | 183,302   |
| 2             | 190,160    | 226,719   | 17            | 123,814    | 160,516   |
| 3             | 154,890    | 191,500   | 18            | 151,550    | 188,110   |
| 4             | 103,635    | 140,192   | 19            | 113,421    | 150,131   |
| 5             | 163,403    | 200,000   | 20            | 130,188    | 166,909   |
| 6             | 104,619    | 141,288   | 21            | 178,996    | 215,682   |
| 7             | 130,990    | 167,671   | 22            | 133,374    | 169,963   |
| 8             | 138,790    | 175,455   | 23            | 129,258    | 165,870   |
| 9             | 153,099    | 189,777   | 24            | 172,231    | 208,911   |
| 10            | 174,065    | 210,700   | 25            | 182,585    | 219,299   |
| 11            | 121,934    | 158,505   | 26            | 154,957    | 191,561   |
| 12            | 124,885    | 161,588   | 27            | 112,073    | 148,755   |
| 13            | 187,002    | 223,554   | 28            | 159,223    | 195,833   |
| 14            | 138,138    | 174,699   | 29            | 115,748    | 152,422   |
| 15            | 123,059    | 159,618   | 30            | 164,523    | 201,162   |

Между марками M200 и M80 проложен нивелирный ход, имеющий  $n$  секций. Необходимо вычислить отметки промежуточных реперов, а также оценить точность их получения.

Высоту репера  $K$  можно вычислить от марки М200 и от марки М80:

$$\left. \begin{aligned} H'_K &= H_{\text{М200}} + \sum_1^k h_{\text{пр}} \\ H''_K &= H_{\text{М80}} + \sum_{k+1}^n h_{\text{обр}} \end{aligned} \right\}.$$

Отметки репера  $K$ , полученные от разных марок, неравноточные, поэтому необходимо вводить веса. По теории математической обработки геодезических измерений (ТМОГИ) можно записать

$$\left. \begin{aligned} P'_K &= \frac{1}{\sum_1^k L} \\ P''_K &= \frac{1}{\sum_{k+1}^n L} \end{aligned} \right\}.$$

Из двух значений высоты репера необходимо за окончательное значение принять среднее весовое, полученное по формуле

$$H_K = \frac{H'_K P'_K + H''_K P''_K}{P'_K + P''_K}.$$

Вследствие того, что в одиночном нивелирном ходе, опирающемся на исходные реперы или марки, имеется всего одно избыточное измерение; определить СКО нивелирования на 1 км хода не представляется возможным. Для оценки точности используют разности двойных измерений, считая их истинными ошибками:

$$m_{\text{км}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2/L]}{n}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[Pd^2]}{n}},$$

где  $d = h_{\text{пр}} + h_{\text{обр}}$  – для удобства переводят в миллиметрах;  
 $n$  – количество секций;

$$P_i = 1/L_i;$$

$$m_{HK} = \frac{m_{KM}}{\sqrt{P_{HK}}},$$

где  $P_{HK} = P_{K'} + P_{K''}$ .

В результате выполнения задания предоставляется вычисление уравнированных отметок реперов с их оценкой точности.

### Лабораторная работа № 3

#### УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ III ИЛИ IV КЛАССА СПОСОБОМ ПОЛИГОНОВ

**Приборы и принадлежности:** калькулятор (компьютер).

**Задание:** выполнить уравнивание превышений и вычисление отметок реперов нивелирной сети способом полигонов проф. В. В. Попова.

На рис. 3.1 показанные в виде дроби цифры соответствуют в числителе превышениям в метрах, а в знаменателе – длинам секций ( $L$ ) в километрах. Числа в квадратах – номера ходов, проставленные для удобства обозначения.

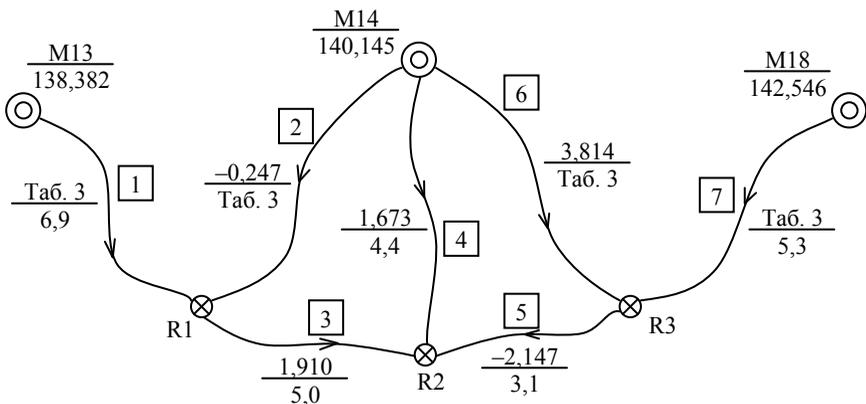


Рис. 3.1. Схема нивелирной сети

Для получения данных своего варианта длины секций и превышения следует изменить согласно указаниям табл. 3.1.

Таблица 3.1

Данные по вариантам

| Варианты | $h_{M13-R1}$     | $L_{M14-R1}$ | $h_{M18-R3}$            | $L_{M14-R3}$        |
|----------|------------------|--------------|-------------------------|---------------------|
| 1–15     | $1,508 + 0,001N$ | $3,4 + 0,2N$ | 1,421                   | 6,2                 |
| 16–30    | 1,508            | 3,4          | $1,421 - 0,001(N - 15)$ | $6,2 - 0,2(N - 15)$ |

Здесь N – номер варианта.

**Ход работы**

1. Составить чертеж уравнивания с таблицами невязок и поправок.
2. Вычислить допустимые невязки ( $f_h = \pm 10\sqrt{L}$ ).
3. Вычислить красные числа секций, записать их над таблицами поправок, размещенных у соответствующей секции за полигоном:

$$\left. \begin{aligned} K_{12} &= L_2 / \Sigma_1 \\ K_{13} &= L_3 / \Sigma_1 \\ K_{14} &= L_4 / \Sigma_1 \end{aligned} \right\};$$

$$\Sigma_1 = L_2 + L_3 + L_4.$$

Сумма красных чисел по полигону должна быть равна единице, т. е.  $K_{12} + K_{13} + K_{14} = 1$ . Также вычисляют красные числа для остальных полигонов.

4. Распределить невязки пропорционально красным числам по секциям и записать поправки за полигоном в таблицах со знаком невязки. Поправки вычисляют по формулам

$$\left. \begin{aligned} v'_{12} &= K_{12} f_1 \\ v'_{13} &= K_{13} f_1 \\ v'_{14} &= K_{14} f_1 \end{aligned} \right\}.$$

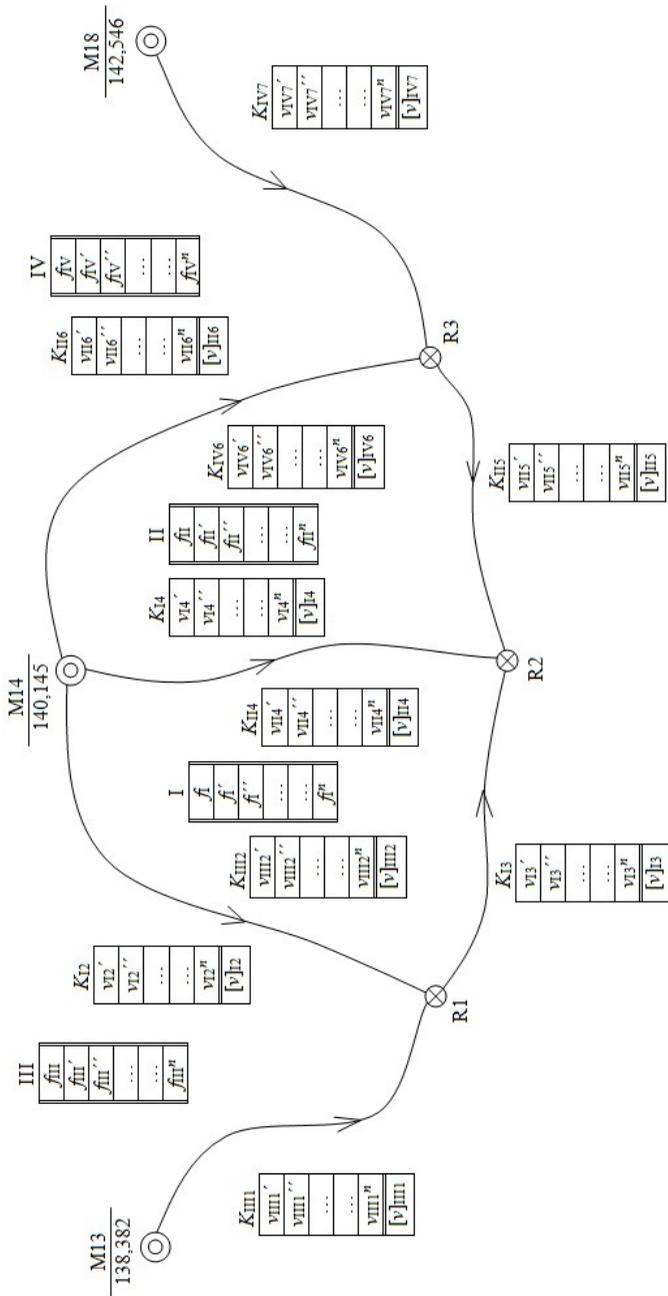


Рис. 3.2. Схема уравнения превышений по способу В. В. Попова

Контроль: сумма поправок по полигону должна быть равна невязке этого же полигона  $[v'] = f_1$ .

Далее необходимо распределить невязку второго полигона. Но во второй полигон «пришла» поправка из I полигона через четвертую секцию. Тогда новая невязка будет

$$f'_{II} = f_{II} + v'_{14}. \quad (3.1)$$

Поправки в секции II полигона вычисляют по формулам

$$\left. \begin{aligned} v'_{II4} &= f'_{II} K_{II4} \\ v'_{II5} &= f'_{II} K_{II5} \\ v'_{II6} &= f'_{II} K_{II6} \end{aligned} \right\}; \quad (3.2)$$

$$[v']_{II} = f'_{II}. \quad (3.3)$$

Поправки в III и IV полигоны определяем аналогично поправкам для II полигона: по формулам (3.2) и (3.3), предварительно учтя поправки I и II полигонов по формуле (3.1).

*Во втором приближении невязка I полигона будет*

$$f'_I = v'_{III2} + v'_{II4}. \quad (3.4)$$

Дальнейшие действия повторяют первое приближение за исключением нахождения невязок, которые в дальнейшем будут находиться для I полигона по формуле (3.4), для II, III и IV соответственно

$$f''_{II} = v''_{14} + v''_{IV6};$$

$$f''_{III} = v''_{12};$$

$$f''_{IV} = v''_{II6}.$$

*Приближения продолжают до тех пор, пока невязки в полигонах не будут нулевыми или равными I; в этом случае их приписывают внешним звеньям.*

5. Вычисляют суммарные поправки секций. Для I полигона

$$\left. \begin{aligned} v_{I2} &= [v]_{III2} - [v]_{I2} \\ v_{I3} &= -[v]_{I3} \\ v_{I4} &= [v]_{II4} - [v]_{I4} \end{aligned} \right\};$$
$$[v]_I = -f_I.$$

Для II полигона

$$\left. \begin{aligned} v_{II4} &= [v]_{I4} - [v]_{II4} \\ v_{II5} &= -[v]_{II5} \\ v_{II6} &= [v]_{IV6} - [v]_{II6} \end{aligned} \right\};$$
$$[v]_{II} = -f_{II}.$$

Для III полигона

$$\left. \begin{aligned} v_{III} &= -[v]_{III} \\ v_{III2} &= [v]_{I2} - [v]_{III2} \end{aligned} \right\};$$
$$[v]_{III} = -f_{III}.$$

Для IV полигона

$$\left. \begin{aligned} v_{IV6} &= [v]_{II6} - [v]_{IV6} \\ v_{IV7} &= -[v]_{IV7} \end{aligned} \right\};$$
$$[v]_{IV} = -f_{IV}.$$

*Оценка точности*

Средняя квадратическая ошибка (СКО) единицы веса вычисляется по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{\left[ \frac{v^2}{L} \right]}{n-k}} = \sqrt{\frac{[Pv^2]}{n-k}},$$

где  $v$  – суммарная поправка секции;  
 $L$  – длина секции;  
 $n$  – число секций в сети;  
 $k$  – число точек с неизвестными высотами.

$$m_{\text{км}} = \frac{\mu}{\sqrt{c}}, \quad (3.5)$$

где  $m_{\text{км}}$  – средняя квадратическая ошибка на 1 км хода;  
 $c$  – коэффициент, применяемый при вычислении весов; для данной работы принимаем  $c = 1$ .

$$P_i = \frac{c}{L_i} = \frac{1}{L_i}.$$

СКО положения определяемой точки вычисляют по формуле

$$M_i = \frac{\mu}{\sqrt{P'_i}} = \frac{m_{\text{км}}}{\sqrt{P'_i}},$$

где  $P'$  – вес определяемой точки, который проще всего вычислять по формуле нахождения приближенных весов В. П. Козлова:

$$P' = [P]_i - \frac{P_{iE}^2}{[P]_E} - \frac{P_{iF}^2}{[P]_F} - \dots - \frac{P_{iK}^2}{[P]_K},$$

где  $[P]_i$  – сумма весов секций, сходящихся в узловой точке;  
 $P_{iE}, P_{iF}, \dots, P_{iK}$  – веса секций, соединяющих узловую точку с узловыми точками  $E, F, \dots, K$ ;  
 $[P]_E, [P]_F, \dots, [P]_K$  – суммы весов узловых секций, сходящихся в узловых точках  $E, F, \dots, K$ .

Применяя эту формулу для нашей сети получим, что вес узловой точки R1 будет

$$P'_{R1} = P_{M13-R1} + P_{M14-R1} + P_{R2-R1} - \frac{P_{R2-R1}^2}{P_{R2-R1} + P_{R2-M14} + P_{R2-R3}}.$$

Формулы для нахождения весов узловых точек R2 и R3 составляются аналогично.

В результате выполнения задания представляются:

- схематичный чертеж полигонов с табличками невязок и поправок, вычисляемых при распределении невязок;
- вычисление уравненных отметок узловых реперов с их оценкой точности.

#### Лабораторная работа № 4

### УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ III ИЛИ IV КЛАССА СПОСОБОМ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ЗАМЕНЫ

**Приборы и принадлежности:** калькулятор (компьютер).

**Задание:** выполнить уравнивание превышений и вычисление отметок реперов нивелирной сети способом эквивалентной замены.

На рис. 3.1 показанные в виде дроби цифры соответствуют в числителе превышениям в метрах, а в знаменателе – длинам секций ( $L$ ) в километрах. Для получения данных своего варианта длины секций и превышения следует изменить согласно указаниям табл. 3.1.

Для удобства записи пронумеруем нивелирные хода: ходу M13–R1 присвоим номер 1, ходу M14–R1 номер 2, ходу R1–R2 номер 3, ходу M14–R2 номер 4, ходу R3–R2 номер 5, ходу M14–R3 номер 6, ходу M18–R3 номер 7.

Результаты вычислений представить в виде таблицы.

Ведомость уравнивания превышений способом эквивалентной замены

| № хода   | № исходных марок и узловых реперов | Измеренные превышения $h$ , м | Длины ходов $L$ , км | Вычисленные отметки узловых реперов $H'$ , м | Веса $P = c/L$ ( $c = 5$ ) | Поправки $V$ , мм | Уравненные отметки $H$ , м | Исправленные превышения $h$ , м | $P \cdot V^2$ |
|----------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------|--|----------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------|
| 1        | 2                                  | 3                             | 4                    | 5  | 6                          | 7                 | 8                          | 9                               | 10            |
| Репер R1 |                                    |                               |                      |  |                            |                   |                            |                                 |               |
| 1        | M13                                | +1,508                        | 6,9                  | 139,890                                      | 0,72                       | +7,8              | 139,8978                   | +1,5158                         | 43,80         |
| 2        | M14                                | -0,247                        | 3,4                  | 139,898                                      | 1,47                       | -0,2              |                            | -0,2472                         | 0,06          |
| 1, 2     |                                    |                               | 2,28                 | 139,895                                      | 2,19                       | +2,8              |                            |                                 |               |
| 3        |                                    | +1,910                        | 5,0                  |  | 1,00                       | +6,2              |                            | +1,9162                         | 38,44         |
| Репер R3 |                                    |                               |                      |  |                            |                   |                            |                                 |               |
| 6        | M14                                | +3,814                        | 6,2                  | 143,959                                      | 0,81                       | +3,0              | 143,9620                   | +3,817                          | 7,29          |
| 7        | M18                                | +1,421                        | 5,3                  | 143,967                                      | 0,94                       | -5,0              |                            | +1,416                          | 23,50         |
| 6, 7     |                                    |                               | 2,86                 | 143,963                                      | 1,75                       | -1,0              |                            |                                 |               |
| 5        |                                    | -2,147                        | 3,1                  |  | 1,61                       | -1,0              |                            | -2,148                          | 1,61          |
| Репер R2 |                                    |                               |                      |  |                            |                   |                            |                                 |               |
| 1, 2 + 3 |                                    |                               | 7,28                 | 141,805                                      | 0,69                       | +9,0              | 141,8140                   |                                 |               |
| 6, 7 + 5 |                                    |                               | 5,96                 | 141,816                                      | 0,84                       | -2,0              |                            |                                 |               |
| 4        | M14                                | +1,673                        | 4,4                  | 141,818                                      | 1,14                       | -4,0              |                            | +1,669                          | 18,24         |
|          |                                    |                               |                      | 141,814                                      | 2,67                       |                   |                            |                                 |               |

Округление производится до:  
знаков после запятой.

|                          |   |   |   |   |   |
|--------------------------|---|---|---|---|---|
| 2                        | 3 | 2 | 1 | 4 | 2 |
| $[P \cdot V^2] = 132,94$ |   |   |   |   |   |

## Ход работы

Так как нивелирные хода 1 и 2 опираются на исходные репера М13 и М14 соответственно, и служат для нахождения высоты точки R1, то их можно заменить на эквивалентный ход 1,2.

Для нахождения высоты точки R1 используем уже известную формулу

$$H_{1,2}^{R1} = \frac{H_1 P_1 + H_2 P_2}{P_1 + P_2},$$

где  $H_1 = H_{M13} + h_1$ ;  $H_2 = H_{M14} + h_2$ ;

$P_1 = c/L_1$ ;  $P_2 = c/L_2$ ; для этой работы  $c = 5$ .

Вес высоты точки R1, полученный по ходам 1 и 2, будет

$$P_{1,2} = P_1 + P_2.$$

Длина этого воображаемого хода находится через его вес

$$L_{1,2} = \frac{c}{P_{1,2}}.$$

*Эквивалентным* называется воображаемый нивелирный ход 1,2, заменяющий два (или несколько) действительных хода; вес эквивалентного хода равен сумме весов ходов, его составляющих, а высота репера по эквивалентному ходу будет получена с тем же значением и с той же точностью, как и по действительным ходам 1 и 2.

Для дальнейших расчетов нужны вес и длина эквивалентного хода 1,2+3:

$$L_{1,2+3} = L_{1,2} + L_3;$$

$$P_{1,2+3} = \frac{c}{L_{1,2+3}}.$$

Из трех неравнозначных значений отметки точки R2 определим наиболее надежное значение как среднее весовое

$$H_{R2} = \frac{H_{1,2+3}P_{1,2+3} + H_4P_4 + H_{6,7+5}P_{6,7+5}}{P_{1,2+3} + P_4 + P_{6,7+5}}. \quad (4.1)$$

Полученная по формуле (4.1) отметка точки будет окончательной (уравненной) высотой узловой точки R2, так как в ее получении участвовали все превышения, полученные по всем семи ходам.

Поправки в превышения в соответствующие хода будут

$$\left. \begin{aligned} v_{1,2+3} &= H_{R2} - H_{1,2+3} \\ v_4 &= H_{R2} - H_4 \\ v_{6,7+5} &= H_{R2} - H_{6,7+5} \end{aligned} \right\}.$$

Поправку  $v_{1,2+3}$  распределим на отдельные части по ходам 1,2 и 3 пропорционально длинам линий:

$$\left. \begin{aligned} v_{1,2} &= \frac{v_{1,2+3}}{L_{1,2+3}} L_{1,2} \\ v_3 &= \frac{v_{1,2+3}}{L_{1,2+3}} L_3 \end{aligned} \right\}.$$

Для нахождения окончательного значения высоты узловой точки R1 предварительную высоту этой точки  $H_{1,2}^{R1}$  исправим поправкой  $v_{1,2}$ . Эта поправка представляет собой дополнительное влияние определенных превышений по ходам 3, 4, 5, 6, 7 на величину высоты точки R1.

$$H_{R1} = H_{1,2}^{R1} + v_{1,2}.$$

Поправки на хода 1 и 2 получим как разности:

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= H_{R1} - H_1 \\ v_2 &= H_{R1} - H_2 \end{aligned} \right\}.$$

### Оценка точности

Средняя квадратическая ошибка (СКО) единицы веса вычисляется по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[Pv^2]}{n-k}}, \quad (4.2)$$

где  $n$  – число нивелирных ходов;

$k$  – число точек с неизвестными высотами.

СКО на 1 км хода вычисляется по формуле (3.5), а надежность СКО единицы веса будет

$$m_{\mu} = \frac{\mu}{\sqrt{2(n-k)}}. \quad (4.3)$$

СКО уравненного значения высоты узловой точки будет

$$M_{H_{Ri}} = \frac{\mu}{\sqrt{P_{H_{Ri}}}}, \quad (4.4)$$

где  $P_{H_{Ri}}$  – вес определяемой точки R1, R2 и R3, который находят по формулам:

$$P_{R1} = P_1 + P_2 + P_{(6,7+5),4+3};$$

$$P_{R2} = P_{1,2+3} + P_4 + P_{6,7+5};$$

$$P_{R3} = P_7 + P_6 + P_{(1,2+3),4+5}.$$

СКО самой ошибки будет

$$m_{M_H} = \frac{m_{\mu}}{\sqrt{P_{H_{Ri}}}}. \quad (4.5)$$

В результате выполнения задания представляются:

- ведомость сравнения вычисленных невязок по полигонам с их допустимыми значениями;
- схема эквивалентных ходов;
- ведомость уравнивания превышений и вычисления узловых реперов нивелирной сети с их оценкой точности.

## Лабораторная работа № 5

### УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ III ИЛИ IV КЛАССА СПОСОБОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ

**Приборы и принадлежности:** калькулятор (компьютер).

**Задание:** выполнить уравнивание превышений и вычисление отметок реперов нивелирной сети способом приближений.

На рис. 3.1 показанные в виде дроби цифры соответствуют в числителе превышениям в метрах, а в знаменателе – длинам секций ( $L$ ) в километрах. Для получения данных своего варианта длины секций и превышения следует изменить согласно указаниям табл. 3.1.

#### Ход работы

По теории математической обработки геодезических измерений (ТМОГИ) неизвестные высоты точек  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  выражаются системой уравнений

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{P_1(H_{M13} + h_1) + P_2(H_{M14} + h_2) + P_3(y - h_3)}{P_1 + P_2 + P_3} \\ y &= \frac{P_3(x + h_3) + P_4(H_{M14} + h_4) + P_5(z + h_5)}{P_3 + P_4 + P_5} \\ z &= \frac{P_5(y - h_5) + P_6(H_{M14} + h_6) + P_7(H_{M18} + h_7)}{P_5 + P_6 + P_7} \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

Непосредственно по формулам (5.1) неизвестные получить нельзя, так как они входят в левую и правую части равенства. Однако эти формулы можно использовать для вычисления приближенных значений неизвестных. В этом случае отметка точки R1 в первом приближении без учета R2 и R3 будет

$$H'_{R1} = \frac{P_1(H_{M13} + h_1) + P_2(H_{M14} + h_2)}{P_1 + P_2}.$$

Первое приближение отметки точки R2 определится формулой с учетом первого приближения отметки  $H'_{R1}$ , т. е.

$$H'_{R2} = \frac{P_3(H'_{R1} + h_3) + P_4(H_{M14} + h_4)}{P_3 + P_4}.$$

Аналогично первое приближение отметки точки R3 определится формулой с учетом первого приближения отметки  $H'_{R2}$ :

$$H'_{R3} = \frac{P_5(H'_{R2} - h_5) + P_6(H_{M14} + h_6) + P_7(H_{M18} + h_7)}{P_5 + P_6 + P_7}.$$

Второе и последующие приближения выполняются с учетом предыдущих приближений:

$$\left. \begin{aligned} H^n_{R1} &= \frac{P_1(H_{M13} + h_1) + P_2(H_{M14} + h_2) + P_3(H_{R2}^{n-1} - h_3)}{P_1 + P_2 + P_3} \\ H^n_{R2} &= \frac{P_3(H_{R1}^n + h_3) + P_4(H_{M14} + h_4) + P_5(H_{R3}^{n-1} + h_5)}{P_3 + P_4 + P_5} \\ H^n_{R3} &= \frac{P_5(H_{R2}^n - h_5) + P_6(H_{M14} + h_6) + P_7(H_{M18} + h_7)}{P_5 + P_6 + P_7} \end{aligned} \right\}.$$

## Ведомость уравнивания превышений способом последовательных приближений

| № хода   | № исходн. марок и узловых реперов | Огметки исходных марок $H$ , м | Измеренные превышения $h_i$ , м | Длины ходов $L_i$ , км | Весы $P = c/L$ ( $c = 5$ ) | Приближения $H_i$ , м |                |                |                | Поправки $v_i$ , мм | Исправленные превышения $h_i$ , м | $Pv_i^2$ |
|----------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|-----------------------------------|----------|
|          |                                   |                                |                                 |                        |                            | I                     | II             | III            | IV             |                     |                                   |          |
| Репер R1 |                                   |                                |                                 |                        |                            |                       |                |                |                |                     |                                   |          |
| 1        | M13                               | 138,382                        | 1,508                           | 6,9                    | 0,72                       | <b>139,890</b>        | <b>139,890</b> | <b>139,890</b> | <b>139,890</b> | 8,1                 | 1,5161                            | 47,24    |
| 2        | M14                               | 140,145                        | -0,247                          | 3,4                    | 1,47                       | <b>139,898</b>        | <b>139,898</b> | <b>139,898</b> | <b>139,898</b> | 0,1                 | -0,2469                           | 0,01     |
| 3        | R2                                |                                | <u>-1,910</u>                   | 5,0                    | 1,00                       | -                     | 139,9021       | 139,9042       | 139,9042       | -6,1                | -1,9161                           | 37,21    |
|          |                                   |                                | 3,19                            |                        | 3,19                       | 139,8954              | 139,8975       | 139,8981       | 139,8981       |                     |                                   |          |
| Репер R2 |                                   |                                |                                 |                        |                            |                       |                |                |                |                     |                                   |          |
| 3        | R1                                |                                | 1,910                           | 5,0                    | 1,00                       | 141,8054              | 141,8075       | 141,8081       | 141,8081       | 6,1                 | 1,9161                            | -        |
| 4        | M14                               | 140,145                        | 1,673                           | 4,4                    | 1,14                       | <b>141,818</b>        | <b>141,818</b> | <b>141,818</b> | <b>141,818</b> | -3,8                | 1,6692                            | 16,46    |
| 5        | R3                                |                                | -2,147                          | 3,1                    | 1,61                       | -                     | 141,8143       | 141,8153       | 141,8153       | -1,1                | -2,1481                           | 1,95     |
|          |                                   |                                | 3,75                            |                        | 3,75                       | 141,8121              | 141,8136       | 141,8142       | 141,8142       |                     |                                   |          |
| Репер R3 |                                   |                                |                                 |                        |                            |                       |                |                |                |                     |                                   |          |
| 5        | R2                                |                                | <u>2,147</u>                    | 3,1                    | 1,61                       | 143,9591              | 143,9606       | 143,9612       | 143,9612       | 1,1                 | 2,1481                            | -        |
| 6        | M14                               | 140,145                        | 3,814                           | 6,2                    | 0,81                       | <b>143,959</b>        | <b>143,959</b> | <b>143,959</b> | <b>143,959</b> | 3,3                 | 3,8173                            | 8,82     |
| 7        | M18                               | 142,546                        | 1,421                           | 5,3                    | 0,94                       | <b>143,967</b>        | <b>143,967</b> | <b>143,967</b> | <b>143,967</b> | -4,7                | 1,4163                            | 20,76    |
|          |                                   |                                | 3,36                            |                        | 3,36                       | 143,9613              | 143,9620       | 143,9623       | 143,9623       |                     |                                   |          |

Округление производится до:  
знаков после запятой.

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 | 4 | 2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

$[Pv^2] = 132,45$

Двойной чертой подчеркнуты превышения, у которых поменялся знак, так как их направление уравнивания не совпадает с направлением измерений.

*Приближения продолжаются до тех пор, пока все высоты очередного приближения не окажутся равны себе из предыдущего приближения до 4-го знака после запятой. Все результаты вычислений удобно свести в таблицу.*

При оценке точности используются формулы (4.2), (3.5), (4.3), (4.4), (4.5), а веса реперов находят либо как в способе эквивалентной замены, либо по приближенным формулам В. П. Козлова.

В результате выполнения задания предоставляются:

- ведомость уравнивания превышений и вычисления узловых реперов нивелирной сети с их оценкой точности;
- вывод о результатах уравнивания нивелирной сети тремя способами.

## **Лабораторная работа № 6**

### **УСТРОЙСТВО, ПОВЕРКИ И ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ ТОЧНЫМИ ТЕОДОЛИТАМИ**

***Приборы и принадлежности:*** теодолит ЗТ2КП (ТБ1).

***Задание:*** изучить устройство и принцип работы точных теодолитов; освоить отсчетные приспособления точных теодолитов; выполнить поверки теодолитов; измерить углы на четыре точки методом круговых приемов.

#### **Ход работы**

Перед измерением углов способом круговых приемов устанавливают теодолит на штативе над вершиной угла. Центрируют с помощью оптического центрира и приводят ось вращения прибора в отвесное положение по уровню на алидаде горизонтального круга.

Рекомендуется эти операции выполнять в следующей последовательности:

- установить теодолит в середине головки штатива и подъемные винты подставки относительно головки штатива на одинаковую высоту;
- наблюдая в окуляр оптического центрира, установить штатив с теодолитом над точкой, добываясь возможно точного центрирования теодолита над ней;

– при помощи подъемных винтов точно отцентрировать теодолит над точкой;

– привести ось вращения теодолита в отвесное положение с помощью раздвижных ножек штатива (опуская или поднимая их);

– подправить (если есть необходимость) горизонтирование с помощью подъемных винтов подставки, но так, чтобы минимально сбить центрирование.

Точность центрирования оптическим центриром – 1 мм.

На примере рассмотрим *метод круговых приемов*.

Теодолит устанавливают на станции. Требуется измерить левые по ходу углы между направлениями на все смежные пункты. Первый прием измерения:

а) наводят визирную ось зрительной трубы при КЛ на заднюю по ходу визирную марку, которую при измерении принимают за начальное направление;

б) устанавливают лимб и оптический микрометр на отсчет, близкий к нулю (лучше несколько больше нуля); для этого сначала вращением рукоятки микрометра устанавливают отсчет по шкале последнего, близкий к нулю, затем вращением рукоятки перестановки лимба тщательно совмещают изображение штрихов противоположных краев лимба, после чего производят отсчет и записывают в журнал (1) и (2);

в) разводят рукояткой микрометра изображение совмещенных штрихов, снова их соединяют (второе совмещение), производят отсчет и записывают в журнал (3); разность двух отсчетов не должна превышать 5"; рекомендуется окончательное совмещение штрихов выполнять вращением рукоятки микрометра по ходу часовой стрелки (на ввинчивание);

г) открепляют алидаду, вращают теодолит по ходу часовой стрелки и наводят визирную ось трубы на вторую, а затем последующие марки; при двух совмещениях производят отсчеты, которые записывают в журнал;

д) снова наводят визирную ось трубы на заднюю по ходу марку, при двух совмещениях производят отсчеты и записывают в журнал (17)–(19).

На этом заканчивают измерения в первом полуприеме. Повторное наведение на первую марку называется *замыканием горизонта*. Это действие производится для того, чтобы установить, сохранил

ли лимб в процессе работы неподвижное положение. Расхождение между результатами наблюдений на начальное направление в начале и конце полуприема не должно превышать 8".

После перевода зрительной трубы через зенит при КП производят измерения *второго полуприема*:

а) вращая алидаду по ходу часовой стрелки, наводят ось зрительной трубы на начальное направление и при двух совмещениях производят отсчеты, которые записывают в журнал в строку, соответствующую второму наведению на это направление в предыдущем полуприеме (21)–(23);

б) открепляют алидаду, поворачивают теодолит против хода часовой стрелки и наводят визирную ось трубы на третью, вторую и снова на первую марки. Производят отсчеты при двух совмещениях и записывают их в журнал.

Второй и последующие приемы измерения направлений производят в такой же последовательности, как и первый, но для ослабления влияния систематических погрешностей делений лимба, его поворачивают на угол  $\sigma = 180^\circ/n + 60'/n$ , где  $n$  – число приемов.

При измерении углов теодолитами Т2 или ТБ1 шестью приемами во втором устанавливают отсчет при наведении на начальную марку близким к  $30^\circ 10'$ , в третьем – к  $60^\circ 20'$  и т. д. Пример записи и вычислений в журнале при измерении углов способом круговых приемов (первый прием) приведен в табл. 6.1.

В каждом приеме выполняют следующие вычисления. В графе 7 вычисляют средние значения из первого и второго совмещений по каждому направлению. В графе 8 находят величину двойной коллимационной ошибки  $2C$ . Постоянство величины  $2C$  (колебания ее допускаются в пределах  $\pm 12''$ ) служит показателем хорошего качества измерений. В графе 9 получают средние значения из величин, вычисленных в графе 7. В графе 10 вычисляют приведенные к общему нулю направления. Для этого сначала получают величины незамыкания начальных направлений в приеме при КЛ –  $\Delta_{\text{кл}}$ , при КП –  $\Delta_{\text{кп}}$  и средние  $\Delta_{\text{ср}}$  как разность между повторным измерением ( $A'$ ) и первым ( $A$ ). Эти величины записывают в журнал в конце наблюдений приема. Если величина  $\Delta_{\text{ср}}$  получится более 1", то ее следует распределить с обратным знаком на все направления пропорционально их номерам.

Таблица 6.1

## ЖУРНАЛ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ

Пункт \_\_\_\_\_  
 Теодолит \_\_\_\_\_  
 Дата \_\_\_\_\_  
 Наблюдал \_\_\_\_\_  
 Вычислил \_\_\_\_\_

Погода \_\_\_\_\_  
 Видимость \_\_\_\_\_  
 Изображение \_\_\_\_\_

| Номер приёма   | Название направлений | Круг   | Отсчеты по штрихам лимба | Отсчеты по микрометру |                     | $\frac{a_1 + a_2}{2}$ | 2c                  | Значения направлений         | Исправленные значения направлений |
|--|----------------------|--------|--------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------------|
|  |                      |        |                          | a <sub>1</sub>        | a <sub>2</sub>      |                       |                     |                              |                                   |
| 1  | 2                    | 3      | 4                        | 5                     | 6                   | 7                     | 8                   | 9                            | 10                                |
| I  | A                    | Л      | 0°12' <sup>(1)</sup>     | 44'' <sup>(2)</sup>   | 48'' <sup>(3)</sup> | 46'' <sup>(4)</sup>   | 4'' <sup>(49)</sup> | 0°12'44'' <sup>(50)</sup>    | 0°00'00'' <sup>(51)</sup>         |
|  |                      | П      | 180°12' <sup>(45)</sup>  | 45''                  | 40''                | 42'' <sup>(48)</sup>  |                     |                              |                                   |
|  | B                    | Л      | 15°32' <sup>(5)</sup>    | 32''                  | 33''                | 32'' <sup>(8)</sup>   | 0''                 | 15°32'32'' <sup>+1</sup>     | 15°19'49'' <sup>(52)</sup>        |
|  |                      | П      | 195°32'                  | 30''                  | 34''                | 32''                  |                     |                              |                                   |
|  | C                    | Л      | 37°59'                   | 58''                  | 62''                | 60''                  | 1''                 | 38°00'00'' <sup>+2</sup>     | 37°47'18'' <sup>(53)</sup>        |
|  |                      | П      | 218°00'                  | 01''                  | 01''                | 01''                  |                     |                              |                                   |
|  | D                    | Л      | 55°52' <sup>(13)</sup>   | 04''                  | 09''                | 06'' <sup>(16)</sup>  | 3'' <sup>(31)</sup> | 55°52'08'' <sup>(32)+3</sup> | 55°39'27'' <sup>(54)</sup>        |
|  |                      | П      | 135°52' <sup>(27)</sup>  | 11''                  | 07''                | 09'' <sup>(30)</sup>  |                     |                              |                                   |
|  | A'                   | Л      | 0°12' <sup>(17)</sup>    | 38''                  | 38''                | 38'' <sup>(20)</sup>  | 3'' <sup>(25)</sup> | 0°12'40'' <sup>(26)+4</sup>  | 0°00'00'' <sup>(55)</sup>         |
|  |                      | П      | 180°12' <sup>(21)</sup>  | 40''                  | 42''                | 41'' <sup>(24)</sup>  |                     |                              |                                   |
| $\Delta_{кп} = -8; \Delta_{кп} = -1; \Delta_{ср} = -4$ |                      |        |                          |                       |                     |                       |                     |                              |                                   |
| II   | A                    | Л<br>П | 30° 10'                  |                       |                     |                       |                     |                              | 0°00'00''                         |
|  | B                    | Л<br>П |                          |                       |                     |                       |                     |                              |                                   |
|  | C                    | Л<br>П |                          |                       |                     |                       |                     |                              |                                   |
|  | D                    | Л<br>П |                          |                       |                     |                       |                     |                              |                                   |
|  | A'                   | Л<br>П |                          |                       |                     |                       |                     |                              | 0°00'00''                         |
| $\Delta_{кп} = ; \Delta_{кп} = ; \Delta_{ср} =$        |                      |        |                          |                       |                     |                       |                     |                              |                                   |
| ·  | ·                    | ·      | ·                        | ·                     | ·                   | ·                     | ·                   | ·                            | ·                                 |
| ·  | ·                    | ·      | ·                        | ·                     | ·                   | ·                     | ·                   | ·                            | ·                                 |
| ·  | ·                    | ·      | ·                        | ·                     | ·                   | ·                     | ·                   | ·                            | ·                                 |
| VI   | A                    | Л<br>П | 150°50'                  |                       |                     |                       |                     |                              | 0°00'00''                         |
|  | B                    | Л<br>П |                          |                       |                     |                       |                     |                              |                                   |
|  | C                    | Л<br>П |                          |                       |                     |                       |                     |                              |                                   |
|  | D                    | Л<br>П |                          |                       |                     |                       |                     |                              |                                   |
|  | A'                   | Л<br>П |                          |                       |                     |                       |                     |                              | 0°00'00''                         |
| $\Delta_{кп} = ; \Delta_{кп} = ; \Delta_{ср} =$        |                      |        |                          |                       |                     |                       |                     |                              |                                   |

Цифры в скобках указывают порядок заполнения журнала.

В результате выполнения задания представляется отчет. Он должен содержать нижеперечисленные пункты.

1. Технические характеристики теодолита.
2. Снятие отсчетов с изображением отсчетных устройств у различных типов точных теодолитов.
3. Проверки и юстировки точных теодолитов:
  - проверка и юстировка установочного уровня;
  - проверка и юстировка установки сетки нитей;
  - проверка и юстировка коллимационной ошибки;
  - проверка равенства колонок;
  - определение места нуля;
  - проверка и юстировка оптического центра.
4. Ведомость измерения углов методом круговых приемов (табл. 6.1–6.3).

Таблица 6.2

| Дата | № приема | Лимб    | <i>B</i>     | <i>v</i> | <i>C</i>     | <i>v</i> | <i>D</i>     | <i>v</i> | Незамыкание   |
|------|----------|---------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|---------------|
|      |          |         | 15°19'       |          | 37°47'       |          | 55°39'       |          |               |
| 11.X | I        | 0°00'   | 49''         | 1,2''    | 18''         | 0,0''    | 27''         | 2,7''    | -4            |
| 25.X | II       | 30°10'  | 45''         | -2,8''   | 16''         | -2,0''   | 23''         | -1,3''   | 1             |
| 25.X | III      | 60°20'  | 50''         | 2,2''    | 17''         | -1,0''   | 23''         | -1,3''   | 2             |
| 25.X | IV       | 90°30'  | 48''         | 0,2''    | 20''         | 2,0''    | 25''         | 0,7''    | 3             |
| 28.X | V        | 120°40' | 48''         | 0,2''    | 18''         | 0,0''    | 24''         | -0,3''   | -4            |
| 28.X | VI       | 150°50' | 47''         | -0,8''   | 19''         | 1,0''    | 24''         | -0,3''   | 3             |
|      | среднее  |         | 15°19'47,8'' |          | 37°47'18,0'' |          | 55°39'24,3'' |          |               |
|      |          | Σ(+)    |              | 3,8''    |              | 3,0''    |              | 3,4''    |               |
|      |          | Σ(-)    |              | 3,6''    |              | 3,0''    |              | 3,2''    | Σ v  = 20,0'' |

Таблица 6.3

Сведёние и оценка точности углов в СКП

| № направления | Название направления | Направления  |
|---------------|----------------------|--------------|
| 1             | <i>A</i>             | 0°00'00,0''  |
| 2             | <i>B</i>             | 15°19'47,8'' |
| 3             | <i>C</i>             | 37°47'18,0'' |
| 4             | <i>D</i>             | 55°39'24,3'' |

$$n = 4;$$

$$k = 6;$$

$$\mu = \sum |v| / n; \mu = 5,02;$$

$$M = \mu / \sqrt{k}; M = 2,45.$$

## Лабораторная работа № 7

### ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИМИ ЗВЕНЬЯМИ

**Приборы и принадлежности:** теодолит ЗТ2КП (ТБ1), балка Балла, калькулятор (компьютер).

**Задание 1:** создать параллактическое звено треугольной формы (рис. 7.1); выполнить необходимые измерения; рассчитать длину звена.

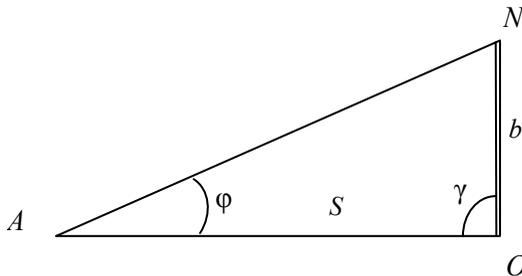


Рис. 7.1. Звено треугольной формы:  
 $b$  – базис, измеренный с высокой точностью;  $\gamma$  – прибазисный угол;  
 $\varphi$  – параллактический угол

Длину звена можно рассчитать по следующей формуле:

$$S = \frac{b \sin(\gamma + \varphi)}{\sin \varphi}.$$

Оценка точности

$$\left(\frac{m_S}{S}\right)^2 = \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{m_\varphi}{\varphi}\right)^2,$$

где  $m_b/b = 1/2\,000$ ,  
 $m_\varphi = 2''$ .

**Задание 2:** вычислить длину параллактического звена ромбической формы с симметричным базисом (рис. 7.2).

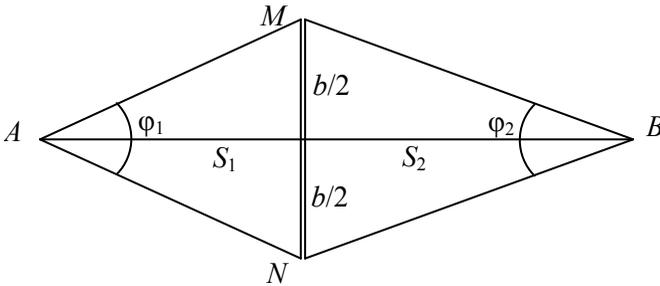


Рис. 7.2. Звено ромбической формы:  
 $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – параллактические углы;  $S_1$  и  $S_2$  – длины отрезков звена

Дано:

$$\varphi_1 = 10^\circ 05' 55,0'' + 1,1'' \cdot N;$$

$$\varphi_2 = 10^\circ 11' 31,5'' + 1,1'' \cdot N;$$

$$MN = b = 49,3576 \text{ м} + 0,0001 \text{ м} \cdot N;$$

$$\frac{m_b}{b} = \frac{1}{50\,000};$$

$$m_{\varphi_1} = m_{\varphi_2} = m_\varphi = \pm 1,8''.$$

$S$  – ?

*Основные формулы*

$$S_1 = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2};$$

$$S_2 = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2}.$$

*Контрольные формулы*

$$S_1 = b \operatorname{ctg} \varphi_1 + \frac{b}{2} \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2};$$

$$S_2 = b \operatorname{ctg} \varphi_2 + \frac{b}{2} \operatorname{tg} \frac{\varphi_2}{2};$$

$$S_{AB} = S_1 + S_2;$$

$$\left( \frac{m_S}{S} \right)^2 = \left( \frac{m_b}{b} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{m_\varphi}{\varphi_1 + \varphi_2} \right)^2.$$

**Задание 3:** вычислить длину параллактического звена ромбической формы с асимметричным базисом.

Дано:

$$\varphi_1 = 9^\circ 01' 25,3'' + 1,1'' \cdot N;$$

$$\varphi_2 = 8^\circ 59' 57,9'' + 1,1'' \cdot N;$$

$$b = 73,8334 \text{ м} + 0,0001 \text{ м} \cdot N;$$

$y = 6,660 \text{ м}$  – величина асимметрии;

$$\frac{m_b}{b} = \frac{1}{50\,000};$$

$$m_{\varphi_1} = m_{\varphi_2} = m_\varphi = \pm 1,1''.$$

$S = ?$

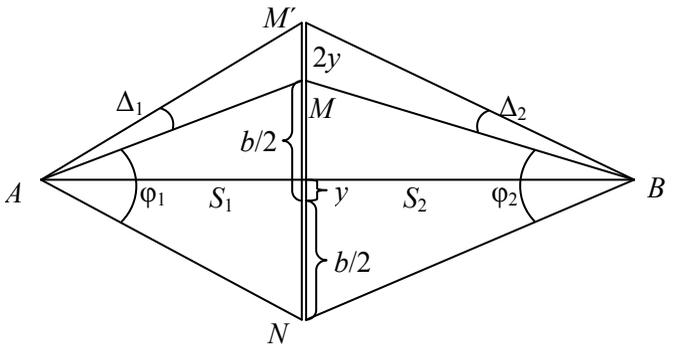


Рис. 7.3. Звено с асимметричным базисом:  
 $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – параллактические углы;  $S_1$  и  $S_2$  – длины отрезков звена

*Основные формулы*

$$\sin \Delta_1 = \frac{2y}{b} \sin \varphi_1;$$

$$\sin \Delta_2 = \frac{2y}{b} \sin \varphi_2;$$

$$S_1 = \frac{b+2y}{2} \operatorname{ctg} \left( \frac{\varphi_1 + \Delta_1}{2} \right);$$

$$S_2 = \frac{b+2y}{2} \operatorname{ctg} \left( \frac{\varphi_2 + \Delta_2}{2} \right).$$

Здесь  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  – асимметрия параллактического угла.

*Контрольные формулы*

$$S'_1 = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2};$$

$$S'_2 = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2};$$

$$S_1 = S'_1 - \frac{y^2}{S'_1};$$

$$S_2 = S'_2 - \frac{y^2}{S'_2};$$

$$S_{AB} = S_1 + S_2;$$

$$\left( \frac{m_S}{S} \right)^2 = \left( \frac{m_b}{b} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{m_\varphi}{\varphi_1 + \varphi_2} \right)^2.$$

В результате выполнения задания представляются:  
– абрис параллактического звена с указанием измеренных величин;  
– расчеты, необходимые для определения длины звена, и результаты вычислений по трем заданиям.

## **Лабораторная работа № 8**

### **ОБРАБОТКА ТРИАНГУЛЯЦИИ 2-ГО РАЗРЯДА**

**Приборы и принадлежности:** калькулятор (компьютер).

**Задание:** выполнить упрощенное уравнивание триангуляции 2-го разряда; найти координаты определяемых пунктов.

#### **Ход работы**

Работа включает две задачи:

- предварительная обработка триангуляции 2-го разряда;
- упрощенное уравнивание триангуляции 2-го разряда.

В отчете о лабораторной работе необходимо привести задание, исходные данные, рисунки, рабочие формулы, результаты вычислений и краткие пояснения. Рисунки и таблицы должны иметь наименования. Контроль вычислений необходимо выполнить по доступным компьютерным программам.

#### ***Предварительная обработка триангуляции 2-го разряда***

Необходимо выполнить предварительную обработку триангуляции 2-го разряда сетей рис. 8.1–8.3.

Для выполнения работы берется одна из типовых фигур; четные варианты рассчитывают схему, изображенную на рис. 8.2, а нечетные – схему, изображенную на рис. 8.3. Исходные данные приведены в табл. 8.1 и 8.2. Для табл. 8.2 значение  $N$  является номером варианта.

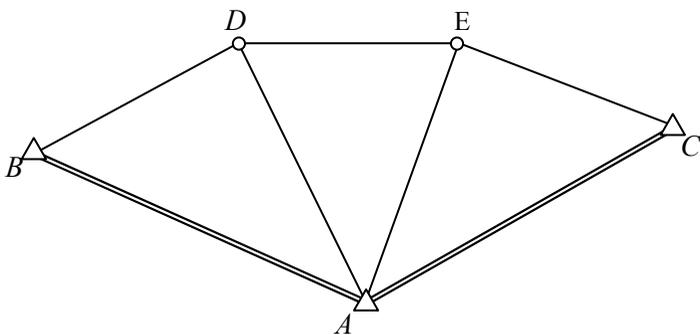


Рис. 8.1. Вставка в угол

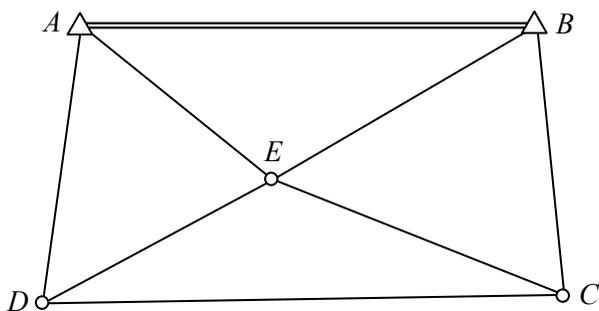


Рис. 8.2. Центральная система

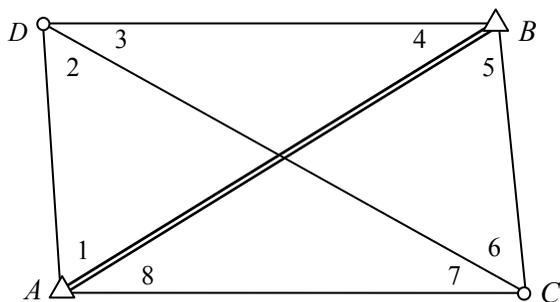


Рис. 8.3. Геодезический четырехугольник

Таблица 8.1

## Измеренные направления

| Станция  | Наблюдаемый пункт | Измеренные направления | Станция  | Наблюдаемый пункт | Измеренные направления |
|----------|-------------------|------------------------|----------|-------------------|------------------------|
| 1        | 2                 | 3                      | 1        | 2                 | 3                      |
| Сеть № 1 |                   |                        |          |                   |                        |
| <i>A</i> | <i>B</i>          | 0°00'00''              | <i>D</i> | <i>E</i>          | 0°00'00''              |
|          | <i>D</i>          | 26°48'06''             |          | <i>A</i>          | 51°05'50''             |
|          | <i>E</i>          | 72°28'20''             |          | <i>B</i>          | 130°23'58''            |
| <i>B</i> | <i>C</i>          | 108°22'40''            | <i>E</i> | <i>C</i>          | 0°00'00''              |
|          | <i>D</i>          | 0°00'00''              |          | <i>A</i>          | 88°32'14''             |
| <i>C</i> | <i>A</i>          | 73°54'02''             |          | <i>D</i>          | 171°45'43''            |
|          | <i>E</i>          | 0°00'00''              |          |                   |                        |
|          |                   | 55°33'01''             |          |                   |                        |
| Сеть № 2 |                   |                        |          |                   |                        |
| <i>A</i> | <i>B</i>          | 0°00'00''              | <i>D</i> | <i>A</i>          | 0°00'00''              |
|          | <i>E</i>          | 29°12'21''             |          | <i>E</i>          | 58°00'56''             |
|          | <i>D</i>          | 87°16'57''             |          | <i>C</i>          | 110°40'48''            |
| <i>B</i> | <i>C</i>          | 0°00'00''              | <i>E</i> | <i>A</i>          | 0°00'00''              |
|          | <i>E</i>          | 54°25'19''             |          | <i>B</i>          | 118°54'55''            |
|          | <i>A</i>          | 86°18'41''             |          | <i>C</i>          | 207°54'34''            |
| <i>C</i> | <i>D</i>          | 0°00'00''              |          | <i>D</i>          | 296°06'01''            |
|          | <i>E</i>          | 39°08'37''             |          |                   |                        |
|          | <i>B</i>          | 75°43'30''             |          |                   |                        |
| Сеть № 3 |                   |                        |          |                   |                        |
| <i>A</i> | <i>D</i>          | 0°00'00''              | <i>C</i> | <i>A</i>          | 0°00'00''              |
|          | <i>B</i>          | 40°17'51''             |          | <i>D</i>          | 48°47'13''             |
|          | <i>C</i>          | 74°59'40''             |          | <i>B</i>          | 94°56'02''             |
| <i>B</i> | <i>C</i>          | 0°00'00''              | <i>D</i> | <i>B</i>          | 0°00'00''              |
|          | <i>A</i>          | 50°21'44''             |          | <i>C</i>          | 39°21'12''             |
|          | <i>D</i>          | 94°29'36''             |          | <i>A</i>          | 95°34'00''             |

Таблица 8.2

## Координаты исходных пунктов и элементы приведения

|                  | Координаты, м |               | Элементы приведения |              |                            |                           |
|------------------|---------------|---------------|---------------------|--------------|----------------------------|---------------------------|
|                  | <i>X</i>      | <i>Y</i>      | <i>l</i> , мм       | $\Theta$ , ° | <i>l</i> <sub>1</sub> , мм | $\Theta$ <sub>1</sub> , ° |
| Станция <i>A</i> | 11180,07 + 5N | 10499,95 – 5N | 150 – N             | 270,2° – N°  | 200 – N                    | 30,7° – N°                |
| Станция <i>B</i> | 10320,03      | 12119,89      | 92 + N              | 45,6° + N°   | 112 + N                    | 158,3° + N°               |

Под заголовком «Исходные данные» необходимо поместить схему сети, свою часть табл. 8.1 с данными этой сети и элементы приведения.

Ниже показан порядок обработки триангуляции на примере сети на рис. 8.1.

1. Составить схематический чертеж сети, на котором показать названия пунктов, номера треугольников, углов и измеренные направления (рис. 8.4).

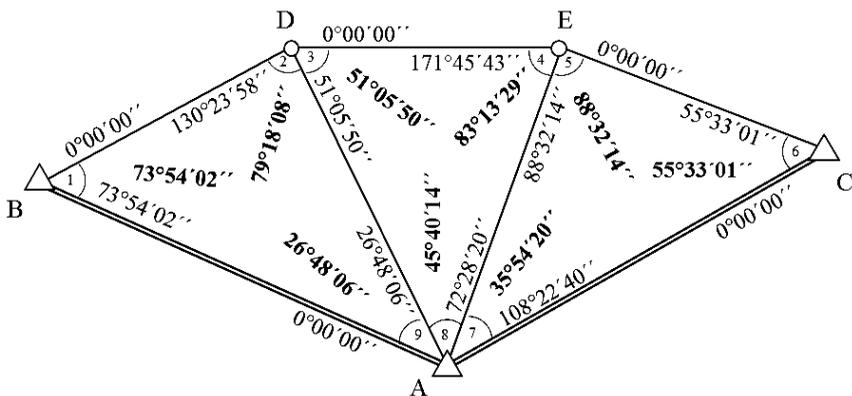


Рис. 8.4. Схема сети с измеренными направлениями и углами.

2. Вычислить измеренные углы как разность правого и левого направлений и выписать их на схему.

3. Определить дирекционный угол и длину линии  $AB$  решением обратной геодезической задачи (табл. 8.3) по формулам:

$$r = \operatorname{arctg} \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}, \quad r \rightarrow \alpha;$$

$$s = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}.$$

При вычислении дирекционного угла  $\alpha$  на микрокалькуляторе рекомендуется пользоваться правилом: если линия имеет северное направление ( $X_B > X_A$ ) и угол  $r$  получился отрицательным, то следу-

ет прибавить  $360^\circ$ ; если линия имеет южное направление ( $X_B < X_A$ ), то нужно прибавить  $180^\circ$ .

Для контроля следует решить прямую задачу по формулам:

$$X_B = X_A + S \cos \alpha;$$

$$Y_B = Y_A + S \sin \alpha.$$

Таблица 8.3

### Решение обратной геодезической задачи

| Номер точек | Координаты |         | Приращения |            | $\alpha$               | $S$      |
|-------------|------------|---------|------------|------------|------------------------|----------|
|             | $X$        | $Y$     | $\Delta X$ | $\Delta Y$ |                        |          |
| $A$         | 5160,18    | 6920,10 | +1559,80   | -1039,98   | $326^\circ 18' 25,4''$ | 1874,709 |
| $B$         | 6719,98    | 5880,12 |            |            |                        |          |
| $A$         | 5160,18    | 6020,10 | +459,94    | +1679,85   | $74^\circ 41' 16,0''$  | 1741,678 |
| $C$         | 5620,12    | 8599,95 |            |            |                        |          |

4. Выполнить предварительное решение треугольников. Треугольники решаются по теореме синусов.

Последовательность операций при решении треугольников (табл. 8.4) следующая:

$$BD = \frac{1874,709}{\sin 79^\circ 18' 08''} \sin 26^\circ 48' 06'' = 860,264;$$

$$AD = \frac{1874,709}{\sin 79^\circ 18' 08''} \sin 73^\circ 54' 02'' = 1833,045;$$

$$DE = \frac{1833,045}{\sin 83^\circ 13' 29''} \sin 45^\circ 40' 14'' = 1320,536;$$

$$AE = \frac{1833,045}{\sin 83^\circ 13' 29''} \sin 51^\circ 05' 50'' = 1436,695 \text{ и т. д.}$$

## Предварительное решение треугольников

| Номер треугольника | Название пункта | Углы        | Название стороны | Длина стороны |
|--------------------|-----------------|-------------|------------------|---------------|
| 1                  | <i>D</i>        | 79°18'08''  | <i>AB</i>        | 1874,709      |
|                    | <i>A</i>        | 26°48'06''  | <i>BD</i>        | 860,264       |
|                    | <i>B</i>        | 73°54'02''  | <i>AD</i>        | 1833,045      |
|                    |                 | 180°00'16'' |                  |               |
| 2                  | <i>E</i>        | 83°13'29''  | <i>AD</i>        | 1833,045      |
|                    | <i>A</i>        | 45°40'14''  | <i>DE</i>        | 1320,536      |
|                    | <i>D</i>        | 51°05'50''  | <i>AE</i>        | 1436,695      |
|                    |                 | 179°59'33'' |                  |               |
| 3                  | <i>C</i>        | 55°33'01''  | <i>AE</i>        | 1436,695      |
|                    | <i>A</i>        | 35°54'20''  | <i>EC</i>        | 1021,741      |
|                    | <i>E</i>        | 88°32'14''  | <i>AC</i>        | 1741,678      |
|                    |                 | 179°59'35'' |                  |               |

5. Вычислить поправки за центрировку и редукцию по следующим формулам:

$$c = \frac{l \sin(A' + \Theta)}{s} \rho,$$

$$r = \frac{l_1 \sin(A' + \Theta_1)}{s} \rho,$$

где  $c$  и  $r$  – поправки за центрировку и редукцию;

$l$  и  $l_1$  – линейные элементы центрировки и редукции;

$\Theta$  и  $\Theta_1$  – угловые элементы центрировки и редукции;

$A'$  – измеренное направление;

$s$  – расстояние между пунктами.

При решении задачи поправки будут малы, поэтому целесообразно получать их в секундах. Для этого достаточно взять величину  $\rho$  в секундах –  $\rho = 206265''$ . Например, поправки в направление

с пункта  $A$  в пункт  $B$  (табл. 8.5) будут найдены из следующих вычислений:

$$c = \frac{150 \cdot \sin 270^\circ 12' 00''}{1\,875\,000} 206265'' = -16,5'';$$

$$r = \frac{200 \cdot \sin 30^\circ 42' 00''}{1\,874\,709} 206265'' = 11,2''.$$

Таблица 8.5

Вычисление поправок за центрировку и редуцию

| Станция  | Наблюд. пункт | $A'$        | $A' + \Theta$ | $A' + \Theta_1$ | $s, \text{ м}$ | $c$     | $r$     |
|--|---------------|-------------|---------------|-----------------|----------------|---------|---------|
| $A$<br>$l = 150 \text{ мм}$<br>$\Theta = 270,2^\circ$<br>$l_1 = 200 \text{ мм}$<br>$\Theta_1 = 30,7^\circ$ | $B$           | 0°00'00''   | 270°12'00''   | 30°42'00''      | 1874,709       | -16,5'' | 11,2''  |
|  | $D$           | 26°48'06''  | 297°00'06''   | 57°30'06''      | 1833,045       | -15,0'' | 19,0''  |
|  | $E$           | 72°28'20''  | 342°40'20''   | 103°10'20''     | 1436,695       | -6,4''  | 28,0''  |
|  | $C$           | 108°22'40'' | 18°34'40''    | 139°04'40''     | 1741,678       | 5,7''   | 15,5''  |
| $B$<br>$l = 92 \text{ мм}$<br>$\Theta = 45,6^\circ$<br>$l_1 = 112 \text{ мм}$<br>$\Theta_1 = 158,3^\circ$  | $D$           | 0°00'00''   | 45°36'00''    | 158°18'00''     | 860,264        | 15,8''  | 9,9''   |
|  | $A$           | 73°54'02''  | 119°30'02''   | 232°12'02''     | 1874,709       | 8,8''   | -9,7''  |
| $C$<br>$l_1 = 90 \text{ мм}$<br>$\Theta_1 = 200,2^\circ$   | $A$           | 0°00'00''   | —             | 200°12'00''     | 1741,678       | —       | -3,7''  |
|  | $E$           | 55°33'01''  | —             | 255°45'01''     | 1021,741       | —       | -17,6'' |

6. Привести измеренные направления к центрам пунктов. На них вводятся поправки за центрировку, вычисленные на данном пункте, и поправки за редуцию, вычисленные на соседних пунктах. Например, на пункте  $A$  в направление  $AB$  вводим поправку за центрировку  $-16,5''$ , вычисленную на пункте  $A$ , и поправку за редуцию  $-9,7''$ , вычисленную на пункте  $B$  для направления  $BA$ .

Суммарные поправки за центрировку и редуцию преобразуют так, чтобы начальное направление осталось точно нулевым, для чего от всех суммарных поправок на станции отнимаем поправку начального направления (табл. 8.6).

Таблица 8.6

Приведение измеренных направлений к центрам пунктов

| Название пункта | Направления на пункт | Измеренные направления | Поправки |         |         |                         | Приведенные направления |
|-----------------|----------------------|------------------------|----------|---------|---------|-------------------------|-------------------------|
|                 |                      |                        | $c$      | $r$     | $c + r$ | $(c + r)_i - (c + r)_0$ |                         |
| A               | B                    | 0°00'00''              | -16,5''  | -9,7''  | -26,2'' | 0,0''                   | 0°00'00''               |
|                 | D                    | 26°48'06''             | -15,0''  |         | -15,0'' | 11,2''                  | 26°48'17,2''            |
|                 | E                    | 72°28'20''             | -6,4''   |         | -6,4''  | 19,8''                  | 72°28'39,8''            |
|                 | C                    | 108°22'40''            | 5,7''    | -3,7''  | 2,0''   | 28,2''                  | 108°23'08,2''           |
| B               | D                    | 0°00'00''              | 15,8''   |         | 15,8''  | 0,0''                   | 0°00'00''               |
|                 | A                    | 73°54'02''             | 8,8''    | 11,2''  | 20,0''  | 4,2''                   | 73°54'06,2''            |
| C               | A                    | 0°00'00''              |          | 15,5''  | 15,5''  | 0,0''                   | 0°00'00''               |
|                 | E                    | 55°33'01''             |          |         |         | -15,5''                 | 55°32'45,5''            |
| D               | E                    | 0°00'00''              |          |         |         | 0,0''                   | 0°00'00''               |
|                 | A                    | 51°05'50''             |          | 19,0''  | 19,0''  | 19,0''                  | 51°06'09''              |
| E               | B                    | 130°23'58''            |          | 9,9''   | 9,9''   | 9,9''                   | 130°24'07,9''           |
|                 | C                    | 0°00'00''              |          | -17,6'' | -17,6'' | 0,0''                   | 0°00'00''               |
| A               | B                    | 88°32'14''             |          | 28,0''  | 28,0''  | 45,6''                  | 88°32'59,6''            |
|                 | D                    | 171°45'43''            |          |         |         | 17,6''                  | 171°46'00,6''           |

7. Составить схему сети с направлениями и углами, приведенными к центрам пунктов (рис. 8.5).

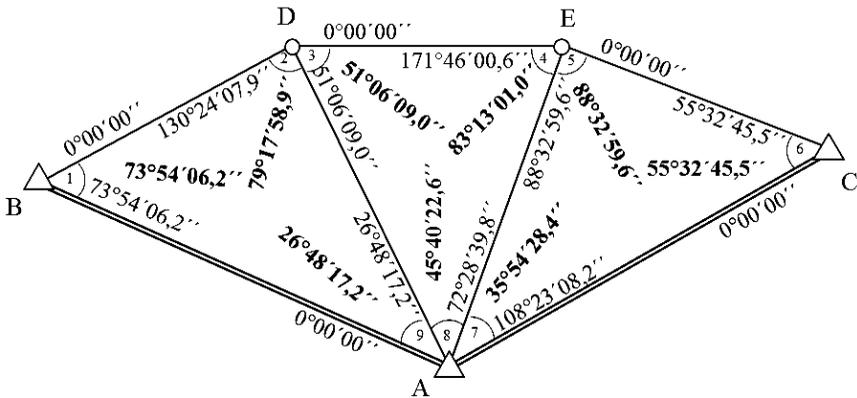


Рис. 8.5. Схема с направлениями и углами, приведенными к центрам знаков

8. Определить свободные члены условных уравнений поправок и их допустимые значения.

Свободные члены условных уравнений фигур (невязки в треугольниках) вычисляются по формуле

$$w = \sum \beta - 180^\circ,$$

а свободный член условия сумм – по формуле

$$w_S = \sum \beta_A + \alpha_H - \alpha_K,$$

где  $\sum \beta_A$  – сумма измеренных углов, входящих в исходный угол  $A$ .

В данном случае  $\alpha_H - \alpha_K = 108^\circ 22' 50,6''$ . Свободные члены условных уравнений фигур и сумм будут:

- 1)  $w_1 = 1 + 2 + 9 - 180^\circ = +22,3''$ ;
- 2)  $w_2 = 3 + 4 + 8 - 180^\circ = -27,4''$ ;
- 3)  $w_3 = 5 + 6 + 7 - 180^\circ = +13,5''$ ;
- 4)  $w_S = 7 + 8 + 9 - 108^\circ 22' 50,6'' = +17,6''$ .

Для четырехугольников вместо  $w_S$  считают  $w_\Phi = \sum_1^8 \beta_i - 360^\circ$ .

Допустимые значения свободных членов условий фигур и сумм определяются по формуле

$$w_{\text{доп}} = 2,5m\sqrt{n},$$

где  $m$  – средняя квадратическая ошибка измерения углов (для триангуляции второго разряда  $m = 10''$ );

$n$  – число суммируемых углов.

В данном случае для фигур и сумм  $n = 3$ . Следовательно,  $w_{\text{доп}} = \pm 43,3''$ . Следует отметить, что по действующим инструкциям предельные невязки в треугольниках сети второго разряда не должны превышать  $\pm 40''$ .

Полусное условие возникает в центральных системах и геодезическом четырехугольнике. Если в геодезическом четырехугольнике пересечение диагоналей условно принять за центральный пункт, то правило вычисления свободного члена полусного условия будет таким же, как и в центральной системе: треугольники рассматриваем из центральной точки, *левые связующие углы записываем в числитель, а правые – в знаменатель.*

Свободные члены условных уравнений полюса и сторон подсчитываются по приведенным к центрам углам:

$$w_n = \left( \frac{\sin \beta_1 \sin \beta_3 \sin \beta_5}{\sin \beta_2 \sin \beta_4 \sin \beta_6} - 1 \right) \rho; \quad (8.1)$$

$$w_\sigma = \left( \frac{b_H \sin \beta_1 \sin \beta_3 \sin \beta_5}{b_K \sin \beta_2 \sin \beta_4 \sin \beta_6} - 1 \right) \rho, \quad (8.2)$$

где  $\beta$  – связующие углы в треугольниках;

$b_H$  – длина начального базиса, от которой начинаем решение треугольников;

$b_K$  – длина конечного базиса, к которой приходим в процессе решения треугольников;

$\rho = 206265''$  – число секунд в одном радиане.

Пренебрегая ошибками исходных сторон, допустимые значения свободных членов условных уравнений полюса и сторон вычислить по формуле

$$(w_{\text{доп}})_n = 2,5m\sqrt{[\delta^2]}. \quad (8.3)$$

Величины  $\delta$  являются коэффициентами при поправках в условных уравнениях, которые вычисляются по формуле

$$\delta_{\beta_i} = \text{ctg} \beta_i.$$

Для удобства расчеты свести в табл. 8.7.

Таблица 8.7

Вычисление свободного члена условия сторон и его допустимого значения

| Номер угла | Значение угла | $\delta$ нечетных | Номер угла | Значение угла | $\delta$ четных | $\delta_H + \delta_{\text{ч}}$ | $(\delta_H + \delta_{\text{ч}})^2$ |
|------------|---------------|-------------------|------------|---------------|-----------------|--------------------------------|------------------------------------|
| $b_H$      | 1874,709      |                   | $b_K$      | 1741,678      |                 |                                |                                    |
| 1          | 73°54'06,2''  | +0,29             | 2          | 79°17'58,9''  | +0,19           | +0,48                          | 0,23                               |
| 3          | 51°06'09,0''  | +0,81             | 4          | 83°13'01,0''  | +0,12           | +0,93                          | 0,86                               |
| 5          | 88°32'59,6''  | +0,03             | 6          | 55°32'45,5''  | +0,69           | +0,71                          | 0,51                               |

$$[\delta^2] = 1,26; \quad (\delta_H + \delta_{\text{ч}})^2 = 1,59.$$

Используя формулу (8.2), получаем свободный член условия сторон  $w_{\sigma} = 9,7''$ , тогда как допустимое значение свободного члена, рассчитанное по формуле (8.3), будет  $(w_{\text{доп}}) = \pm 28''$ .

9. Произвести оценку точности измерений углов *по невязкам фигур*:

$$m = \sqrt{\frac{w^2}{3N_{\Delta}}},$$

где  $w$  – невязки треугольников;

$N_{\Delta}$  – число треугольников.

В рассматриваемом примере получим  $m = 13''$ . Необходимо иметь в виду, что в данной сети число треугольников мало и оценка точности будет ненадежной.

### ***Упрощенное уравнивание триангуляции 2-го разряда***

Выполнить упрощенное уравнивание триангуляции 2-го разряда, предварительная обработка которой была сделана раньше.

В задании приведены три типовые фигуры:

- 1) вставка в угол;
- 2) центральная система;
- 3) геодезический четырехугольник.

В сети № 1 возникают три условия фигур, одно условие сумм и одно условие сторон, которое отнесено во вторую группу; в сети № 2 – четыре условия фигур, одно условие горизонта и одно условие полюса; в сети № 3 – три условия фигур и одно условие полюса.

Решение задачи рекомендуется выполнять в следующем порядке.

1. Вычислить первичные поправки в углы за несинусные условия. В сети № 1 выполняем следующие действия: распределяем невязки треугольников на все углы (табл. 8.8), затем определяем новую невязку условия сумм, которая будет равна первоначальной невязке плюс сумма поправок в углы за условие фигур. В данном случае новая невязка за условие сумм составит

$$w_{\Sigma} + v_9 + v_8 + v_7 = +17,6'' - 7,4'' + 9,1'' - 4,5'' = +14,8''.$$

Для сети № 2

$$w_{\Phi} + v_1 + v_2 + \dots + v_8;$$

для сети № 3 – нет.

Таблица 8.8

Вычисление поправок и уравненных углов

| Номер углов | Приведенные углы | Поправки         |                 |           | Исправленные углы | Вторичные поправки | Уравненные углы |
|-------------|------------------|------------------|-----------------|-----------|-------------------|--------------------|-----------------|
|             |                  | за условия фигур | за условия сумм | первичные |                   |                    |                 |
| 1           | 73°54'06,2''     | -7,4''           | 2,5''           | -4,9''    | 73°54'01,3''      | -5,6''             | 73°53'55,7''    |
| 2           | 79°17'58,9''     | -7,5''           | 2,4''           | -5,1''    | 79°17'53,8''      | 5,6''              | 79°17'59,4''    |
| 9           | 26°48'17,2''     | -7,4''           | -4,9''          | -12,3''   | 26°48'04,9''      |                    | 26°48'04,9''    |
|             | 180°00'22,3''    |                  |                 |           | 180°00'00,0''     |                    | 180°00'00,0''   |
| 3           | 51°06'09,0''     | 9,1''            | 2,5''           | 11,6''    | 51°06'20,6''      | -10,8''            | 51°06'09,8''    |
| 4           | 83°13'01,0''     | 9,2''            | 2,4''           | 11,6''    | 83°13'12,6''      | 10,8''             | 83°13'23,4''    |
| 8           | 45°40'22,6''     | 9,1''            | -4,9''          | 4,2''     | 45°40'26,8''      |                    | 45°40'26,8''    |
|             | 179°59'32,6''    |                  |                 |           | 180°00'00,0''     |                    | 180°00'00,0''   |
| 5           | 88°32'59,6''     | -4,5''           | 2,5''           | -2,0''    | 88°32'57,6''      | -8,3''             | 88°32'49,3''    |
| 6           | 55°32'45,5''     | -4,5''           | 2,5''           | -2,0''    | 55°32'43,5''      | 8,3''              | 55°32'51,8''    |
| 7           | 35°54'28,4''     | -4,5''           | -5,0''          | -9,5''    | 35°54'18,9''      |                    | 35°54'18,9''    |
|             | 180°00'13,5''    |                  |                 |           | 180°00'00,0''     |                    | 180°00'00,0''   |

Эту невязку распределяем поровну на углы, входящие в условие сумм. Например, в первом треугольнике в угол девять она составит 4,9''. Чтобы не появилась невязка фигур в два других угла треугольника вводим по половинной доле этой поправки, но с другим знаком. Суммируя поправки за условия фигур и сумм, получаем первичные поправки.

Аналогично поступаем при уравнивании центральной системы. Необходимо иметь в виду, что при измерении направлений первоначальная невязка горизонта равна нулю, а после уравнивания углов за условия фигур она составит  $-\frac{1}{3} \sum w$ , где  $w$  – невязки треугольников. (Практически ее получим, суммируя поправки в углы на пункте E).

В геодезическом четырехугольнике (см. рис. 8.3) первичные поправки также вычисляем по частям в соответствии со следующими формулами:

$$\left. \begin{aligned} (\beta_1) = (\beta_2) &= -\frac{w_1}{8} - \frac{w_2}{4} \\ (\beta_3) = (\beta_4) &= -\frac{w_1}{8} - \frac{w_3}{4} \\ (\beta_5) = (\beta_6) &= -\frac{w_1}{8} + \frac{w_2}{4} \\ (\beta_7) = (\beta_8) &= -\frac{w_1}{8} + \frac{w_3}{4} \end{aligned} \right\}.$$

Здесь

$$\left. \begin{aligned} w_1 &= \sum_1^8 \beta_i - 360^\circ \\ w_2 &= (\beta_1 + \beta_2) - (\beta_5 + \beta_6) \\ w_3 &= (\beta_3 + \beta_4) - (\beta_7 + \beta_8) \end{aligned} \right\}.$$

2. Вычислить исправленные углы путем введения первичных поправок.

3. По исправленным углам вычислить свободные члены условных уравнений полюса  $w'_n$  или сторон  $w'_\sigma$  по формулам (8.1) или (8.2). Для сети № 1 получим  $w'_\sigma = 18,6''$ . Величины  $\delta_i$  в табл. 8.9 можно переписать из табл. 8.7.

4. Вычислить корреляту по формуле

$$K = -\frac{w'_\sigma}{\sum (\delta_H + \delta_C)^2}.$$

По данным, приведенным в табл. 8.9, получим  $K = -11,7''$ .

Для центральной системы и геодезического четырехугольника в числителе будет стоять  $w'_n$ .

5. Вычислить вторичные поправки по формуле

$$(H_j) = -(C_j) = (\delta_{H_j} + \delta_{C_j})K.$$

Здесь индекс  $j$  соответствует номеру треугольника или строки в табл. 8.9.

Таблица 8.9

Вычисление вторичных поправок

| Номер углов | Значение угла | $\delta_H$ | Номер углов | Значение угла | $\delta_C$ | $\delta_H + \delta_C$ | (H)     | (C)     |
|-------------|---------------|------------|-------------|---------------|------------|-----------------------|---------|---------|
| $b_H$       | 1874,709      |            | $b_K$       | 1741,678      |            |                       |         |         |
| 1           | 73°54'01,3''  | +0,29      | 2           | 79°17'53,8''  | +0,19      | +0,48                 | -5,6''  | +5,6''  |
| 3           | 51°06'20,6''  | +0,81      | 4           | 83°13'12,6''  | +0,12      | +0,93                 | -10,8'' | +10,8'' |
| 5           | 88°32'57,6''  | +0,03      | 6           | 55°32'43,5''  | +0,69      | +0,71                 | -8,3''  | +8,3''  |

6. Вычислить уравненные углы путем введения вторичных поправок в исправленные углы (см. табл. 8.8).

7. Произвести окончательное решение треугольников (табл. 8.10). Окончательное решение выполнить по уравненным углам по такой же методике, как и предварительное. Контроль заключается в повторном вычислении исходной стороны. В данном примере решение треугольников начато с исходной стороны  $AB = 1874,709$  м и получена в конце сторона  $AC = 1741,678$  м.

Таблица 8.10

Окончательное решение треугольников

| Номер треугольника | Название пункта | Углы          | Название стороны | Длина стороны |
|--------------------|-----------------|---------------|------------------|---------------|
| 1                  | 2               | 3             | 4                | 5             |
| 1                  | $D$             | 79°17'59,4''  | $AB$             | 1874,709      |
|                    | $A$             | 26°48'04,9''  | $BD$             | 860,262       |
|                    | $B$             | 73°53'55,7''  | $AD$             | 1833,043      |
|                    |                 | 180°00'00,0'' |                  |               |
| 2                  | $E$             | 83°13'23,4''  | $AD$             | 1833,043      |
|                    | $A$             | 45°40'26,8''  | $DE$             | 1320,543      |
|                    | $D$             | 51°06'09,8''  | $AE$             | 1436,645      |
|                    |                 | 180°00'00,0'' |                  |               |

Окончание табл. 8.10

| 1 | 2        | 3             | 4         | 5        |
|---|----------|---------------|-----------|----------|
| 3 | <i>C</i> | 55°32'51,8''  | <i>AE</i> | 1436,645 |
|   | <i>A</i> | 35°54'18,9''  | <i>EC</i> | 1021,729 |
|   | <i>E</i> | 88°32'49,3''  | <i>AC</i> | 1741,678 |
|   |          | 180°00'00,0'' |           |          |

8. Найти координаты определяемых пунктов, используя уравненные углы и расстояния (табл. 8.11).

Таблица 8.11

Вычисление координат пунктов

| Название пункта | Углы (правые) | Дирекционные углы | Длины сторон | $\Delta X$ | $\Delta Y$ | <i>X</i> | <i>Y</i> |
|-----------------|---------------|-------------------|--------------|------------|------------|----------|----------|
| <i>A</i>        |               | 326°18'25,4''     |              |            |            |          |          |
| <i>B</i>        | 73°53'55,7''  | 72°24'29,7''      | 860,262      | +259,999   | +820,031   | 6719,980 | 5880,120 |
| <i>D</i>        | 130°24'09,2'' | 122°00'20,5''     | 1320,543     | -699,893   | +1119,815  | 6979,979 | 6700,151 |
| <i>E</i>        | 171°46'12,7'' | 130°14'07,8''     | 1021,729     | -659,966   | +779,984   | 6280,087 | 7819,966 |
| <i>C</i>        | 55°32'51,8''  | 254°41'16,0''     |              |            |            | 5620,120 | 8599,950 |
| <i>A</i>        |               |                   |              |            |            |          |          |

В результате выполнения задания представляются:

- расчеты и результаты предварительной обработки триангуляции 2-го разряда;
- расчеты и результаты упрощенного уравнивания триангуляции 2-го разряда.

## Лабораторная работа № 9

### ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ СВЕТОДАЛЬНОМЕРОМ (ЛАЗЕРНЫМ ДАЛЬНОМЕРОМ)

**Приборы и принадлежности:** светодальномер (лазерный дальномер), компарированная рулетка, калькулятор (компьютер).

**Задание:** изучить устройство; выполнить поверки; опробовать различные функции лазерного дальномера.

#### Теоретические сведения

Лазерный дальномер Spectra Precision HD150 фирмы Trimble (рис. 9.1) позволяет легко производить высокоточные измерения при выполнении различного рода инженерных, строительных или геодезических задач. Для измерений не требуется контакта с целью, нужно лишь навести на нее луч лазера и нажать кнопку. Дальномер отлично подходит для измерения расстояний в труднодоступных или опасных местах, например, в шахтах лифтов, туннелях, для высотных сооружений и работ на дорогах.



Рис. 9.1. Внешний вид лазерного дальномера HD150

Специальные метки на корпусе рулетки обеспечивают удобное наведение на объект. Для наведения на удаленные объекты рекомендуется использовать специальный оптический визир (поставляется как отдельная опция).

Технология дальномера гарантирует измерение расстояний до 60 м в любых условиях и с высокой скоростью. Он обеспечивает точность до  $\pm 2$  мм на расстоянии до 30 м и  $\pm 3$  мм на расстоянии свыше 30 м.

*Встроенные функции:* измерение расстояний (основная функция); вычисление площадей; вычисление объема; непрерывные измерения; измерения Мин и Макс; измерение недоступного расстояния.

Память прибора рассчитана на хранение 20 последних сделанных измерений, включая объемы.

Полученные измерения выводятся на большой жидкокристаллический экран с режимом подсветки в темноте.

Очень крепкий корпус выдерживает падение на бетон с высоты до 1 м.

В комплект лазерной рулетки входят две насадки-отсека для батареек: компактная – для измерения от плоских поверхностей; универсальная. Универсальная насадка позволяет легко проводить измерения от внутренних и внешних углов или от стены.

На рис. 9.2 показан пример крепления лазерной рулетки к теодолиту Т30.

Для питания используются четыре батареи типа АА. Заряда одного комплекта батарей хватит на 30 000 измерений. Индикатор заряда батарей заблаговременно предупреждает об их разрядке (на последние 100 измерений).



Рис. 9.2. Пример крепления лазерной рулетки к теодолиту Т30

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| Точность, мм .....                 | $\pm 2,5$ |
| Дальность без отражателя, м .....  | 150       |
| Дальность с отражателем, м .....   | 0,5–300   |
| Время одиночного измерения, с..... | 0,5–4     |

|   |               |
|---|---------------|
| Отключение питания прибора/ лазера при отсутствии активности, с ..... | 300/20        |
| Батареи/ напряжение, шт. × тип/ вольт .....                           | 4×AA / 1,5    |
| Защита от дождя/ пыли по европейскому стандарту .....                 | IP 54         |
| Диапазон раб. температур, °С .....                                    | от –10 до +50 |
| Длина волны, нм .....   | 635           |
| Вес лазерного дальномера с батареями, гр. ....                        | 430           |
| Размеры лазерного дальномера Д×Ш×В, мм .....                          | 150×68×45     |
| Гнездо под штатив .....   | 1 / 4"        |

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

|  |                              |
|--|------------------------------|
| Предварительное включение лазерной точки для наведения на цель ..... | есть                         |
| Пузырьковый уровень .....  | навесной (входит в комплект) |
| Измерение расстояния однократное по нажатию кнопки .....             | есть                         |
| Отмена результата последнего измерения .....                         | есть                         |
| Измерение площади, объема .....                                      | есть                         |
| Многофункциональная позиционная скоба .....                          | есть                         |
| Положение пятки (скобы) для измерения из угла по диагонали .....     | есть                         |
| Подсветка экрана .....   | есть                         |
| Автоматическое отключение питания .....                              | есть                         |
| Память на последние измерения .....                                  | есть                         |

На рис. 9.3 показан внешний вид и перечислены функциональные элементы лазерного дальномера HD150.



Рис. 9.3. Внешние элементы лазерного дальномера HD150:

1 – дисплей; 2 – двухпозиционная кнопка: при легком нажатии включает лазер, при сильном – режим измерения; 3 – кнопка включения подсветки дисплея; 4 – кнопка изменения величины измерения, м / футы; 5 – включение режима измерения длины линии; 6 – включение режима измерения площади; 7 – включение режима измерения объема; 8 – включение режима измерения минимальных и максимальных значений длин; 9 – включение режима измерения превышения; 10 – сброс активного значения на дисплее; 11 – добавление значения в память; 12 – исключение значения из памяти; 13 – просмотр значений в памяти; 14 – крышка отсека питания; 15 – кнопка включения и выключения питания (при удержании более 3 с); 16 – визир

## Ход работы

### *Определение циклической погрешности*

Разместить на ровной местности или в помещении пять базисов длиной  $D$ :

$$D_i = 10N, \quad (9.1)$$

где  $N$  – номер базиса.

Измерить интервалы базисов лазерным дальномером. Измерение проводить при горизонтальном положении лазера. Вычислить значение  $\Delta D_{ц}$  для каждого интервала:

$$\Delta D_{цi} = D_i - D_{pi}, \quad (9.2)$$

где  $D$  – результат измерения лазерным дальномером, мм;

$D_p$  – результат измерения того же интервала рулеткой, мм.

Построить график поправки за циклическую погрешность  $\Delta D_{ц}$  и вносить ее при последующих измерениях.

### *Определение систематической погрешности*

Разместить на ровной местности или в помещении базис  $AD$  длиной около 30 м. В его створе отметить точки  $B$  и  $C$  на удалении примерно 10 м друг от друга. Лазерным дальномером измеряют расстояния  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ ,  $AC$ ,  $BD$  и  $AD$ , которые назовем соответственно  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$ ,  $D_5$  и  $D_6$  (рис. 9.4).

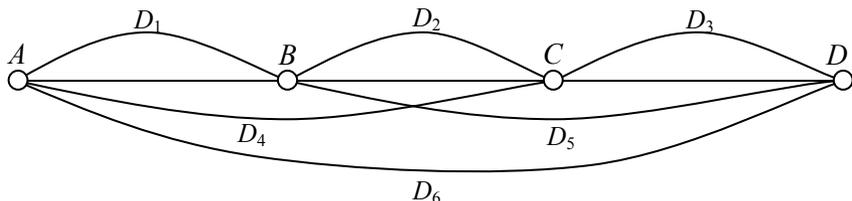


Рис. 9.4. Схема измерения расстояний при нахождении систематической ошибки

Длину линии  $AD$  можно вычислить разными путями:

$$D_I = D_6 + D_c; \quad (9.3)$$

$$D_{II} = D_1 + D_2 + D_3 + 3D_c; \quad (9.4)$$

$$D_{III} = D_4 + D_3 + 2D_c; \quad (9.5)$$

$$D_{IV} = D_1 + D_5 + 2D_c, \quad (9.6)$$

где  $D_c$  – систематическая ошибка.

Систематическая ошибка будет равна систематической поправке, которую можно найти по формуле

$$D_c = \left( \frac{(D_{III} - D_I) + (D_{IV} - D_I) + (D_{II} - D_{III}) + (D_{II} - D_{IV}) + (D_{II} - D_I)/2 + (D_1 + D_2 - D_4) + (D_2 + D_3 - D_5)}{7} \right) \quad (9.7)$$

*Определение различных величин  
при помощи лазерного дальномера*

Измерить длину заданной линии, диагональ, площадь и объем помещения, превышение между точками. Во все длины линий вводить поправки за циклические и систематические погрешности.

В результате выполнения задания представляются:

- расчет поправок за циклические и систематические погрешности;
- результаты проделанных измерений с учетом поправок.

## Лабораторная работа № 10

### ОЗНАКОМЛЕНИЕ С РАБОТОЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ И ТАХЕОМЕТРОВ

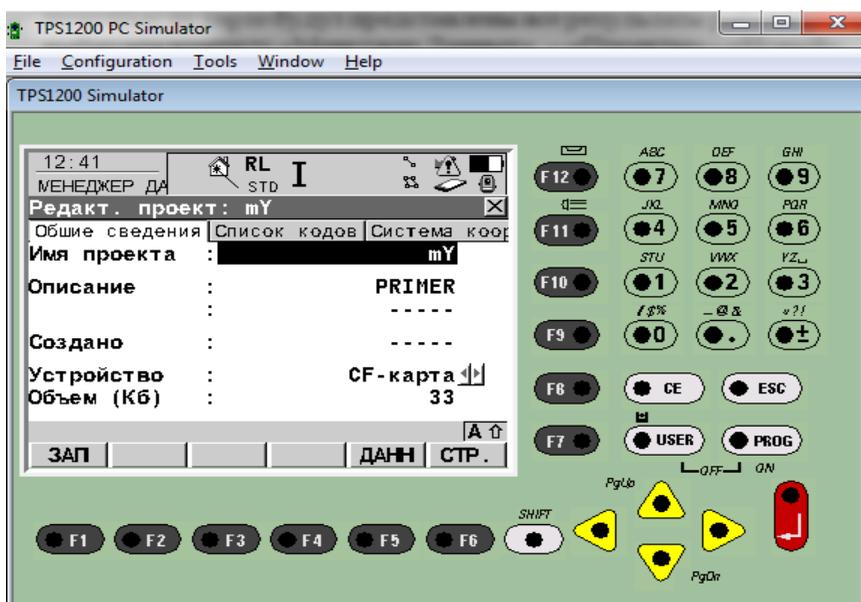
**Приборы и принадлежности:** компьютер с установленным программным обеспечением.

**Задание:** на примере симулятора получить навыки работы с тахеометром.

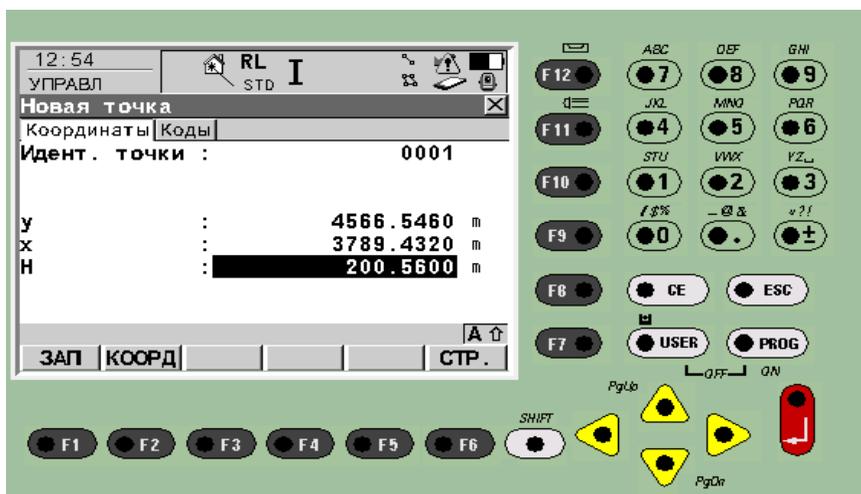
#### Ход работы

В настоящее время появилось много геодезических электронных тахеометров, при помощи которых можно проводить быстрые и точные измерения, а по встроенным программам – вычислительную и графическую обработку. Множество различных функциональных возможностей делает эти приборы универсальными в геодезии, но из-за их высокой стоимости изучение этих возможностей представляет определенные сложности. Эту проблему можно решить при помощи симуляторов геодезических приборов SimulatorGeoMax,

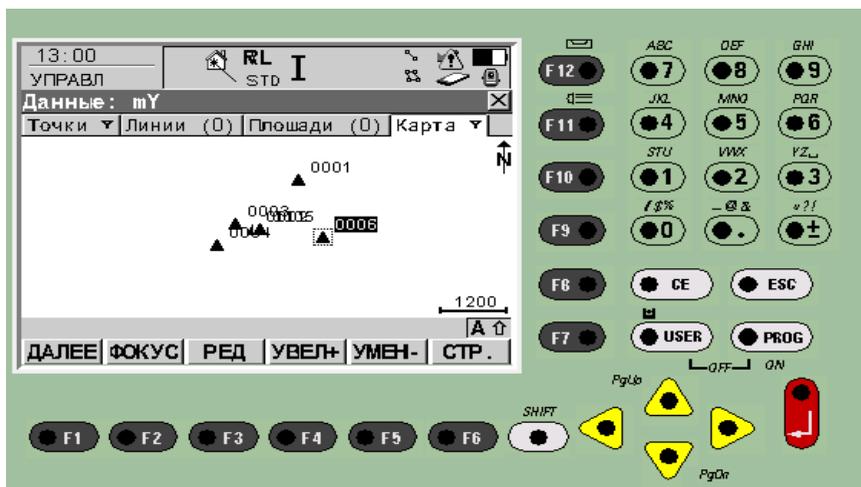
DTM Simulator, Sdr33 pc emulator и др. Например, фирмой Leica Geosystems создана программа TPS 1200 Simulation, которая воспроизводит практически все функциональные возможности тахеометра Leica TPS 1200. Интерфейс симулятора полностью соответствует интерфейсу прибора. В симулятор встроен интерактивный графический дисплей. С его помощью можно представить все этапы полевых работ. Для этого выбираем команду **Менеджер Данных – Проекты – Новый**. Менеджер данных позволяет управлять данными, хранящимися в активном проекте, т. е. просматривать их и связанную с ними информацию, редактировать, удалять, фильтровать и создавать новые данные. Появляется окно, в котором нужно ввести имя проекта, его описание, место хранения данных.



Настройки вкладок **Список кодов** и **Система координат** при необходимости можно изменить. Нажимаем кнопку **ЗАП**. В появившемся диалоговом окне отображаются все сохраненные проекты. Выходим в основное меню нажатием клавиши **ESC** и выполняем последовательность команд **Данные – НОВ**. В новом окне вводим координаты точек **X**, **Y**, **H** и нажимаем **ЗАП**.

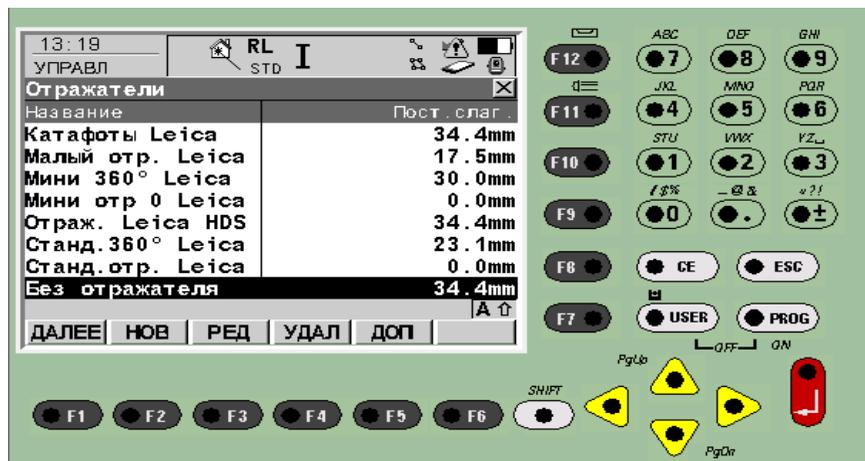


Такие действия повторяем для нужного количества точек. У нас появляется список созданных точек. В этом окне жмем вкладку **Карта** и появляется графическое представление всех точек проекта с соблюдением их нумерации.

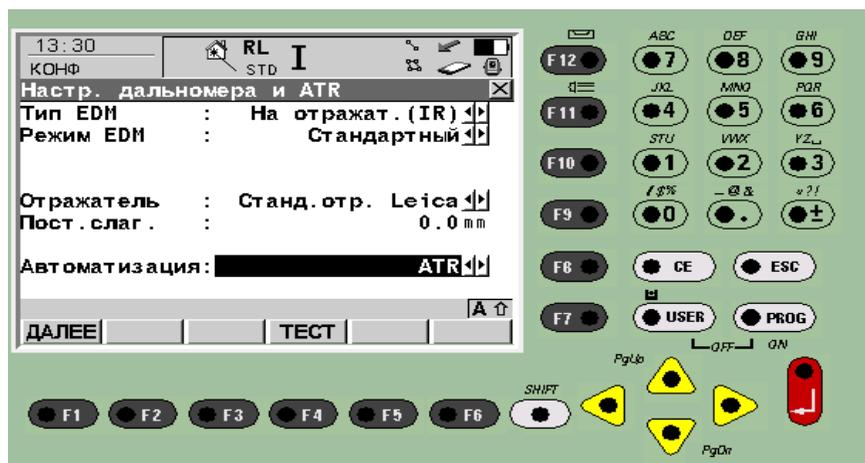


Этой функцией удобно пользоваться при выносе проектных точек в натуру.

Также студенты могут познакомиться с остальным набором функций, соответствующим реальному прибору. В том же меню **Менеджер проектов** предоставляется возможность выбрать тип отражателя на вкладке **Отражатели**.



Есть возможность симуляции настроек автоматизации измерений (в частности **ATR** – система автоматического распознавания цели (отражателя)).



Для этого нужно зайти в меню **Инструмент** вкладка **Настройки дальномера и АТН**. В пункте **Автоматизация** можно выбрать **ЗАХВ – АТН** используется для слежения за движущейся призмой и поиска отражателя после потери сигнала.

Рассмотрим алгоритм работы на станции при тахеометрической съемке с электронным тахеометром Topcon GTS 105N.

### *Предварительная подготовка к измерениям*

Перед началом полевых измерений необходимо выполнить настройку тахеометра и загрузить в его память необходимую для работы информацию (координаты известных точек).

### *Полевые измерения*

1. Установить тахеометр на станции **T<sub>1</sub>**. Отцентрировать и отгоризонтировать инструмент. Замерить высоту тахеометра.
2. Включить питание инструмента.
3. Навести на точку **KRUK** и установить отсчет  $0^{\circ}00'00''$ .
4. Запустить программу съемки.
5. Ввести имя файла, в котором будут храниться данные полевых измерений.
6. Ввести информацию о текущей станции.
7. Ввести имя точки стояния **T<sub>1</sub>**, в поле **Код** ввести имя задней точки или предыдущей станции (пункта привязки) – **KRUK**.
8. Ввести высоту инструмента.
9. В зависимости от параметров настройки ввести координаты станции.
10. Выполнить запись введенных данных в память тахеометра.
11. Войти в режим съемки.
12. Ввести номер следующей точки хода в поле **Точка**.
13. Ввести, если необходимо, код описания этой точки и высоту визирования (высоту отражателя).
14. Выбрать режим измерений.
15. После измерений выключить тахеометр и перейти на следующую точку.
16. При переходе на каждую новую станцию повторить всю последовательность действий.

Файлы результатов измерений можно передать на компьютер с помощью программы PRINCOM.

Использование электронного тахеометра – самый эффективный и целесообразный метод съемки местности.

## Лабораторная работа № 11

### КРАТКИЙ ОБЗОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗОВАННОГО ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ И ПРОФИЛЕЙ

**Приборы и принадлежности:** компьютер с установленным программным обеспечением.

**Задание:** изучить принципы работы с современными программными продуктами, сопутствующими производству геодезических работ.

#### Ход работы

Основное предназначение рассматриваемых программ – составление топографического плана или цифровой модели местности. Различие состоит только в интерфейсе. В настоящее время допущены к применению и используются для обработки измерений такие программы, как Credo, AutoCAD, Pythagoras, Trimble, MapInfo и др.

Программный продукт CREDO разработан компанией «Кредо-Диалог». Основное предназначение – обработка материалов изысканий, проектирования объектов промышленного, гражданского и транспортного строительства, разведки, добычи и транспортировки нефти и газа, создания и ведения крупномасштабных цифровых планов городов и промышленных предприятий. Данный программный продукт имеет модульную структуру.

Основные модули, поставляемые в настоящее время, перечислены ниже.

**CREDO\_DAT** предназначен для автоматизации камеральной обработки инженерно-геодезических данных, полученных при линейных и площадных инженерных изысканиях объектов промышленного, гражданского и транспортного строительства. Исходными данными

являются файлы электронных тахеометров (поддержка форматов всех современных тахеометров), GPS/ГЛОНАСС-систем, рукописные журналы. Результат: каталоги и ведомости измерений, координат и отметок, чертежи и планшеты с зарамочным оформлением М 1 : 500–1 : 5000, файлы форматов DXF, MIF/MID.

**CREDO Топоплан** предназначен для создания цифровой модели местности инженерного назначения и выпуска чертежей топографических планов и планшетов при полосных и площадных инженерных изысканиях объектов промышленного и гражданского строительства. Исходными данными являются файлы CREDO\_TER, CREDO\_PRO, CREDO\_MIX, CREDO\_DAT, а также данные в формате DXF. Результат: цифровая модель местности инженерного назначения, топографические планы в виде листов чертежа или планшетов, файлы формата CXYZ, DXF.

**CREDO Генплан** предназначен для проектирования генеральных планов объектов любого назначения при проектировании, строительстве и эксплуатации строительных объектов, кадастровых и геоинформационных систем. Исходными данными являются цифровая модель местности, материалы полевой наземной съемки в системе «Топоплан». Исходными данными являются файлы CREDO\_TER, CREDO\_PRO, CREDO\_MIX, CREDO\_DAT, а также данные в формате DXF. Черно-белые и цветные растровые файлы карт, планов, аэрофотоснимков подготавливаются в программе Transform. Результат: полноценная трехмерная цифровая модель проекта, чертежи, в том числе разбивочный план, план организации рельефа, сводный план инженерных сетей, план земляных масс, план благоустройства территории, ведомости объемов.

**CREDO Дороги** используется при проектировании нового строительства и реконструкции загородных автомобильных дорог всех технических категорий, транспортных развязок, городских улиц и магистралей. Результат: трехмерная цифровая модель проекта, чертеж, в том числе плана, продольного профиля, поперечных профилей, ведомости и таблицы, экспорт цифровой модели проектного решения в формате DXF и в текстовый формат CXYZ.

**Нивелир** предназначен для камеральной обработки полевых измерений при геометрическом нивелировании I–IV классов, технического и высокоточного инженерного, выполняемого обычными и цифровыми нивелирами, при создании высотных государственных

геодезических опорных сетей и местных высотных сетей, геодезического обеспечения строительства, наблюдения за вертикальными смещениями зданий, сооружений и оборудования. Результат: ведомость превышений и высот пунктов, координат и высот, характеристик нивелирных линий, ведомости предобработки, отражающие учет поправок на среднюю длину рабочего метра пары реек, оценка точности высот пунктов, поправок.

**CREDO Конвертер** предназначен для обмена данными между продуктами на платформе CREDO III и продуктами других производителей. Исходными данными являются набор проектов, созданных в продуктах на платформе CREDO III.

**Trimble Geomatics Office (TGO)** – программное обеспечение Trimble для постобработки традиционных и GPS-измерений, создания ЦММ, уравнивания сетей и преобразования координат. Программное обеспечение TGO является полным и универсальным пакетом, выполняющим совместную обработку геодезических данных любых типов.

Основные функции и возможности:

- импорт данных с GPS-приемников, контроллеров TSC1, TSC2, содержащих любую комбинацию RTK GPS-данных, сырых GPS-данных (как Trimble, так и RINEX), сырых тахеометрических данных электронных тахеометров (серии Trimble 3300, 3600, 5600, а также Geodimeter, Zeiss и других фирм-производителей), цифровых нивелиров (Trimble DiNi, Zeiss, Leica), лазерных дальномеров;

- обработка GPS-данных, геодезических данных с электронных тахеометров и цифровых нивелиров;

- уравнивание геодезических сетей (GPS/тахеометрические данные);

- оценка точности и качества выполненной работы (QA/QC);

- обработка кодов полевых измерений;

- двухсторонняя передача данных из/в контроллеров(-ы) Trimble TSC1 и TSC2;

- экспорт/импорт данных проектирования дорог (более 20 различных форматов, включая AutoDesk Civil Design, Terramodel, Geodimeter, InRoads, SDMS, MXROAD, CLIP and DRD);

- экспорт/импорт пользовательских данных в формате ASCII;

- прорисовка планов и цифровое моделирование;

- преобразование картографических данных и проекций;

- создание систем координат (около сотни базовых систем координат);

- сбор и экспорт GIS-данных. Данные могут экспортироваться в более 30 различных форматов, в том числе геодезические, инженерные, CAD и GIS-форматы, включая ArcView, AutoCAD, MapInfo, Microstation;

- составление и ведение геодезических проектов;

- составление отчетов.

**Программное обеспечение Terramodel** подходит для широкого диапазона геодезических работ, включая обработку топографической съемки (традиционной или RTK GPS) и создание сетей обоснования, а также CAD-редактирование и цифровое моделирование местности. Terramodel – система программ, включающая множество модулей, которые могут быть приобретены отдельно или в составе наборов Solution Paks, объединяющих несколько модулей. Модуль **Начальный уровень** системы Terramodel – Модуль **Полевых Данных** (Terramodel FDM), который стандартно поставляется со всеми тахеометрами Trimble и предоставляет множество функций по поддержке, управлению данными полевых измерений. FDM может быть модернизирован с помощью добавления других модулей Terramodel для решения разнообразных геодезических задач.

Основные функции и возможности:

- связь с приборами Trimble и инструментами других производителей;

- вычисление, просмотр и анализ геодезических данных;

- автоматизированное уравнивание сетей методом наименьших квадратов;

- формирование отчетов, включая контрольные вычисления и уравнивание, подробные распечатки приведения и координат, отчеты о геометрии, расчеты COGO: площади, расстояния и азимуты, контроль качества QA;

- предварительный просмотр графики, вычерчивание проекта съемки;

- импорт данных различных систем других производителей, включая сырые данные съемки, координатные ASCII-данные, данные геометрии трассы, графические обменные файлы (DXF, DWG, DGN), координатно-привязанные и обычные файлы изображений (BMP, TIF, JPG), MX (MOSS), SDMS, NecRas-файлы;

– экспорт данных, включая сырые данные съемки, ASCII-координаты, информацию о разбивке, проект трассы, данные изображений, графические обменные файлы (DXF, DWG, DGN, MX);

– стандартный САД-интерфейс, позволяющий работать со слоями, цветами и типами линий;

– полный набор средств проектирования, моделирование проектов с использованием видов в плане, профиле и в поперечных сечениях;

– вычисление объемов выемки/насыпи, подготовка данных для разбивки и отчетов, вычисление транспортировки масс и этапов строительства, подготовка данных для управляемых машин и создание встроенных съемочных записей на фазе строительства;

– средства САД-редактирования, включающие вырезку, продление, присоединение, подключение, разбиение, перемещение, вращение и смещение;

– средства САД-отрисовки, включающие составление отчетной ведомости, ввод аннотаций, заголовков ведомостей, штриховку, оцифровку и вычерчивание;

– ссылочные файлы позволяют вывести несколько проектов и предыдущих съемок в виде фоновых данных для текущей съемки;

– средства управления изображениями, позволяющие организовывать фоновые данные, сводку цифровой карты, ведомости четверки, авиа- и наземные фотоснимки;

– цифровое моделирование местности (TIN-модель по восьми миллионам точек);

– интерактивная 3D-визуализация;

– создание аннотаций;

– совместимость с ГИС (набор средств, позволяющих использовать данные Terramodel в среде ArcView).

**Pythagoras** – современная интегрированная программа на русском языке для обработки данных топосъемки и проектирования, созданная специально для геодезистов и инженеров-строителей. Pythagoras работает и мыслит как геодезисты и инженеры-строители, что делает ее предельно простой в использовании.

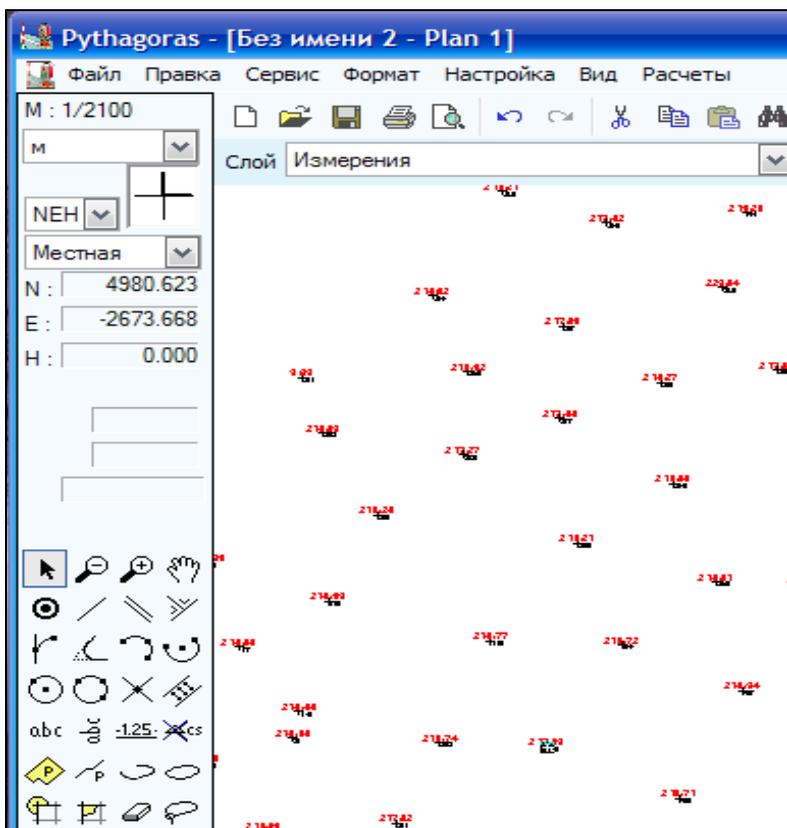
Возможности Pythagoras:

– автоматический выбор объектов и контекстуально зависимые поля ввода, обеспечивающие удачный пользовательский интерфейс для любых геометрических построений;

- использование различных встроенных функций геометрических расчетов: пересечений, засечек, аппроксимаций и т. п.;
- определение различных систем координат;
- создание собственных условных знаков, стилей линий и штриховок;
- преобразование данных проекта (вращение, масштабирование и перемещение) в различные системы координат, используя две или более известные точки;
- использование данных в форматах ведущих производителей электронных тахеометров и внешних накопителей;
- возможность автоматического вычерчивания линий, кривых и т. п. при использовании в поле специальных команд для тахеометра;
- использование дорожного модуля для проектирования дорог, улиц, автомагистралей; подготовка отчетной документации, включая объемы выемок и насыпей, каталоги координат точек для выноса в натуру, профили и поперечники; выполнение трудоемких расчетов объемов земляных работ;
- создание цифровых моделей рельефа по данным высот точек, разделительных линий и кривых;
- импорт и экспорт DXF, DWG и других стандартных форматов данных, включая текстовый;
- импорт, отображение, масштабирование и вывод на печать растровых подложек, которые обеспечивают идеальный фон при создании карт, проектировании, землеотводе и выполнении быстрой оцифровки;
- поддержка различных кодировок, включая кириллицу;
- возможность создания макросов на языке Visual Basic for Applications (VBA) под задачи конкретного пользователя;
- поддержка любых типов плоттеров и принтеров, стыкующихся с MS Windows высокоточных чертежей и геодезических расчетов.

Программа Pythagoras позволяет быстро и эффективно обрабатывать данные полевых измерений, создавать чертежи, выполнять различные измерения и расчеты, создавать цифровые модели рельефа, обрабатывать разомкнутый или замкнутый полигонометрический ход, определять координаты точек при помощи прямой и обратной засечек, производить контроль исполнительной съемки и выводить готовую документацию на печать. Чертежные возможности программы позволяют вычерчивать практически любые графические объекты. Нанесение по координатам на план всех точек вы-

полняется автоматически. В данной программе предусмотрены все виды топографо-геодезических работ для построения топоплана. Программа содержит ряд таблиц, сходных с таблицами полевых геодезических журналов. При построении плана необходимо воспользоваться таблицами для вычисления координат точек теодолитного хода и тахеометрической съемки. Pythagoras позволяет рассчитать каждую из них автоматически. Для расчета координат точек теодолитного хода необходимо ввести исходные данные (координаты пункта полигонометрии и соответствующие дирекционные углы и горизонтальные проложения) и указать тип хода. После того как программа рассчитает координаты всех геодезических пунктов, выполняется их автоматическое построение на плане (рис. 11.1).



Построение элементов ситуации предлагается начинать с гидрографии, т. е. берегов реки Щара и ее ручья по точкам в соответствии с абрисом. Для этого на панели инструментов выбираем кнопку **Создать линию**. Соединив необходимые точки, получим ломаные линии, которые в последующем сглаживаем. Аналогичным образом выполняется нанесение на план жилой постройки с прилегающими к ней объектами. Далее приступаем к построению горизонталей. Программа делает это в автоматическом режиме: самостоятельно интерполирует между выбранными точками и в последующем преобразует кривые, получившиеся в результате соединения проинтерполированных точек (рис. 11.2 и 11.3).

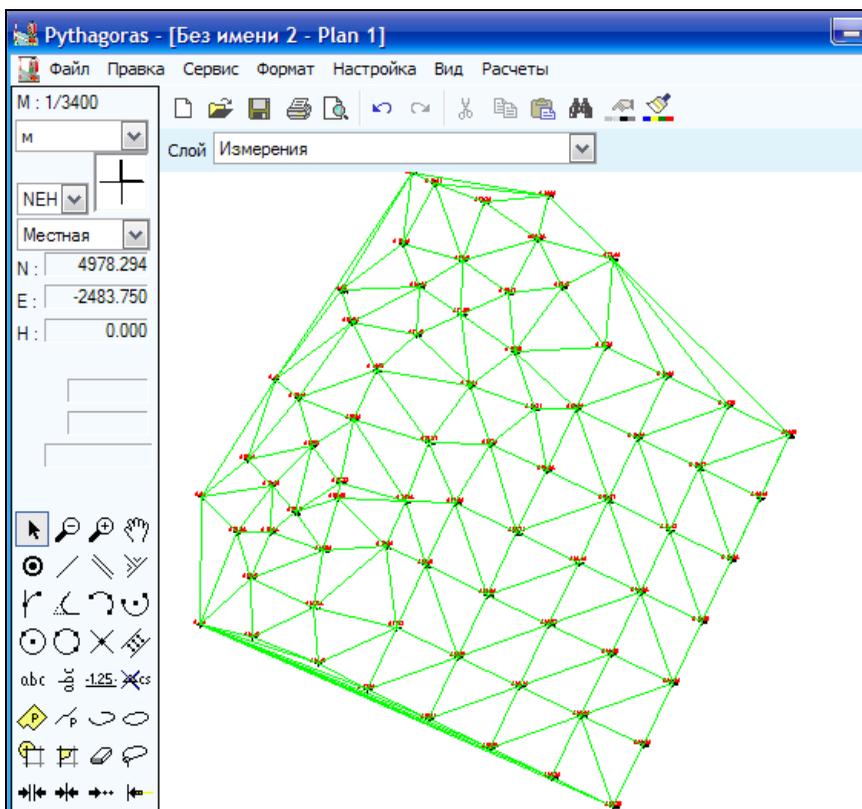


Рис. 11.2. Первый этап создания цифровой модели рельефа

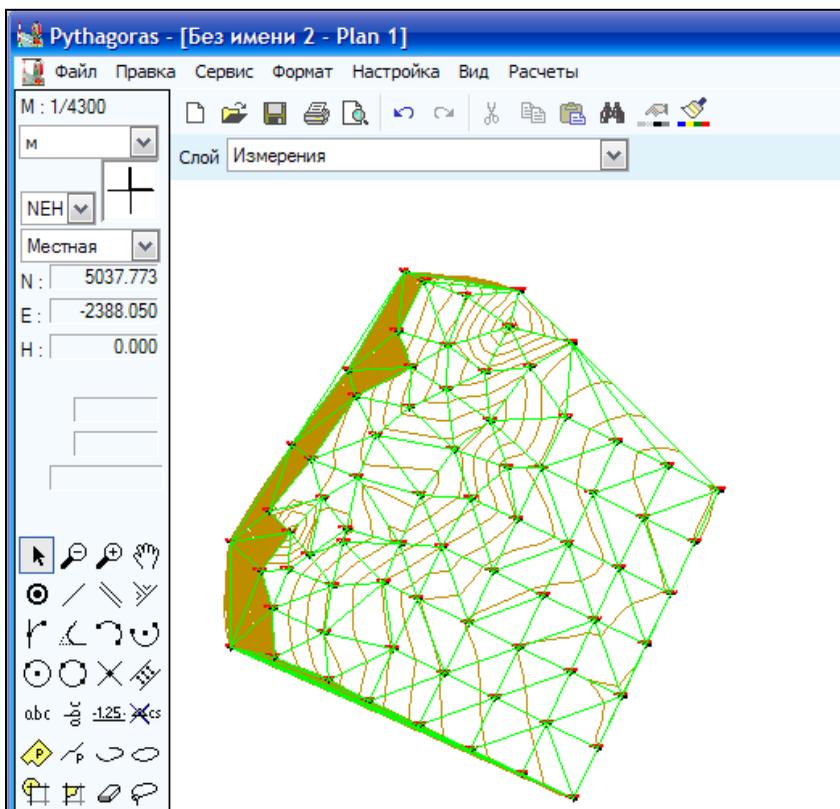


Рис. 11.3. Построение горизонталей

Существуют различные мнения о целесообразности использования компьютеров для решения учебных задач. Если вычисление координат, превышений и других геодезических величин будет производиться простым нажатием кнопок, то студент не сможет понять всю суть работы. На геодезической практике будут вычисляться все те же данные. Зная смысл выполняемой работы можно ввести значения и быстро и качественно получить необходимые результаты.

### **Построения точек и горизонталей с помощью средств AutoCAD**

Построение всех точек съемочного обоснования, вершин квадратов (по результатам геометрического нивелирования) и речных то-

чек тахеометрической съемки выполняется автоматически. Программа PAS по координатам точек из текстового файла рисует кружочки и подписывает номера точек ( $N$ ) и их отметки ( $H$ ) ([www.bntu.by/факультет-транспортных-коммуникаций/кафедра-инженерной-геодезии/документы/полевые-журналы.xls](http://www.bntu.by/факультет-транспортных-коммуникаций/кафедра-инженерной-геодезии/документы/полевые-журналы.xls)). Текстовый формат исходных данных, полученных из электронной таблицы, должен иметь следующий вид ( $N X Y H$ ), например:

513 4780.03 -2425.04 234.24  
20 4716.92 -2530.71 230.62  
21 4712.95 -2497.53 232.21 и т. д.

При построении точек создается три слоя, в которых размещены номера, отметки точек и их отображения. Они могут редактироваться послойно.

В программе AutoCAD выбираем команду **Сервис – AutoLISP – Приложения** (рис. 11.4).

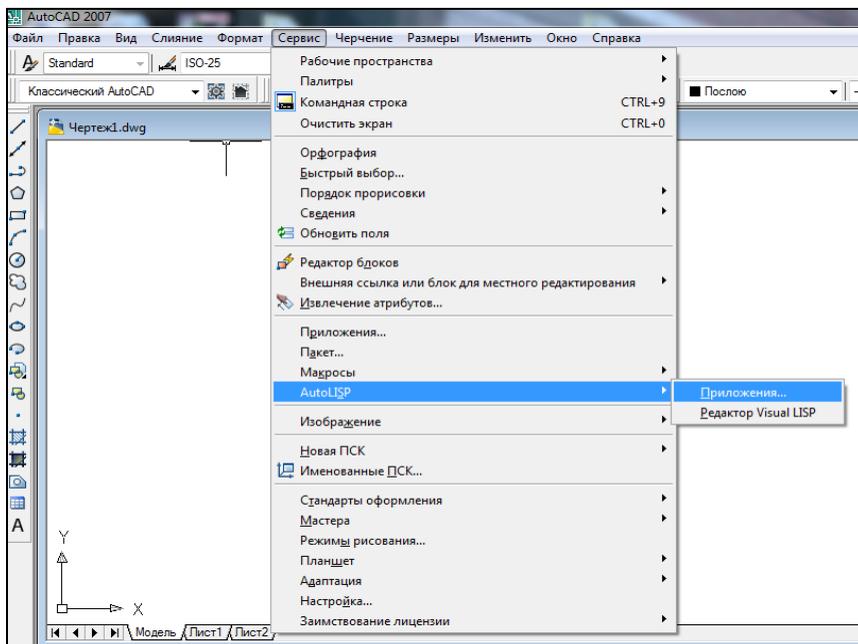


Рис. 11.4. Загрузка программы PAS.lsp

Загружаем приложение PAS. В командной строке набираем название приложения – PAS.

В появившемся окне выбираем ранее сохраненный файл, например Щара\_7.txt, для считывания координат. Все точки, в соответствии со своими координатами, появляются на экране.

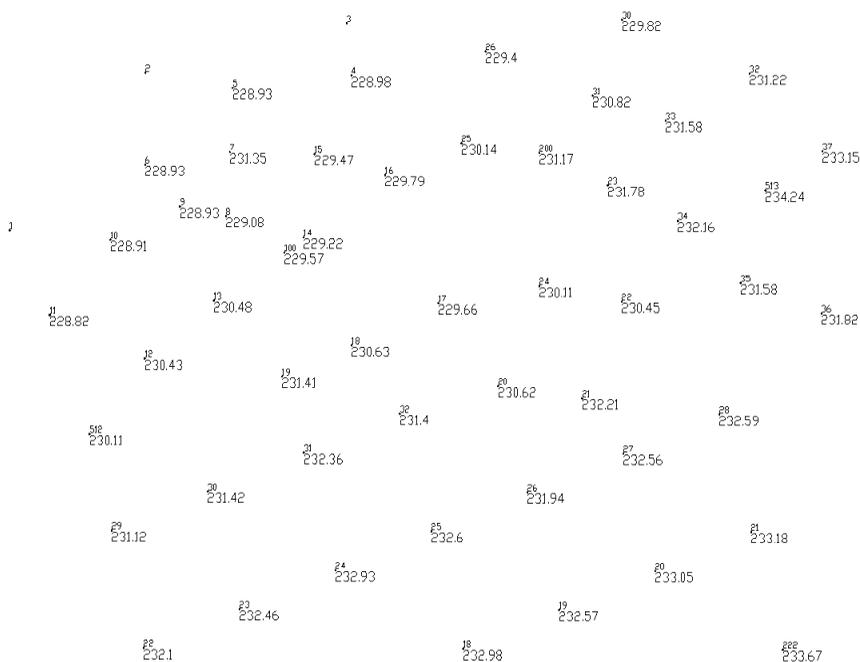


Рис. 11.5. Точки, построенные с помощью программы PAS.lsp

Используя программу **Планировка**, повторно в новом слое строим эти же точки и автоматизированно рисуем горизонтали по треугольникам также в отдельном слое. В конечном результате получится учебный топографический план.

Приложение **Планировка** распространяется бесплатно. Для установки необходимо совершить нижеперечисленные действия.

1. Разархивировать и скопировать папку **Elevation 0.2** на локальный диск компьютера. Данная папка содержит все необходимые для работы приложения файлы.

2. Запустить AutoCAD и выполнить команду **\_appload**.
3. В появившемся окне (рис. 11.6) выбрать файл **Elevation 0.2.dvb** (он расположен в папке **Elevation 0.2**), нажать кнопку **Load**, а затем кнопку **Close**.
4. Выполнить команду **\_vbarun**.

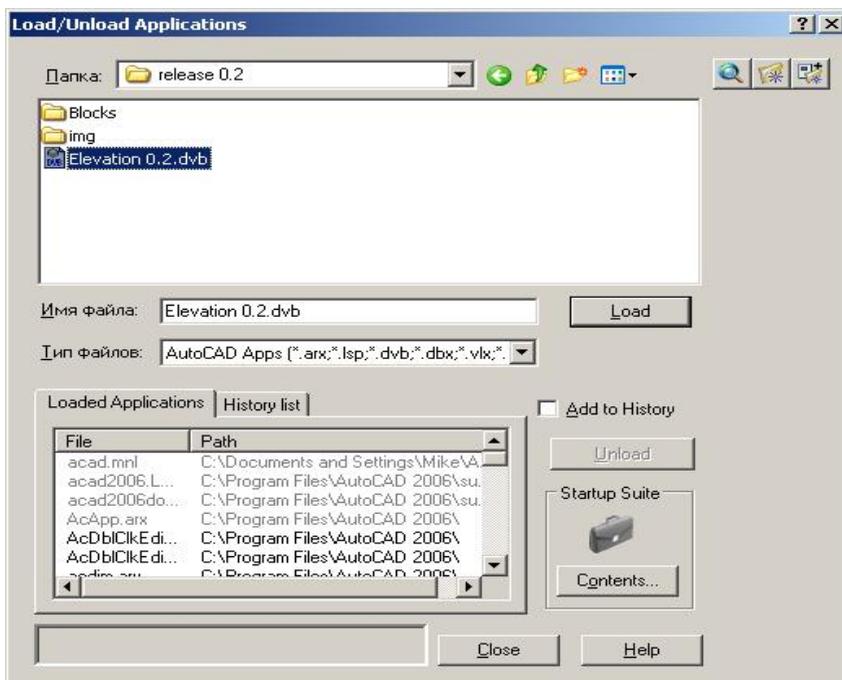


Рис. 11.6. Загрузка проекта Elevation 0.2.dvb

5. В появившемся окне (рис. 11.7) выбрать из списка макрос **InitMain** (он имеет описание: **Запуск приложения Планировка 0.2**) и нажать кнопку **Run**.

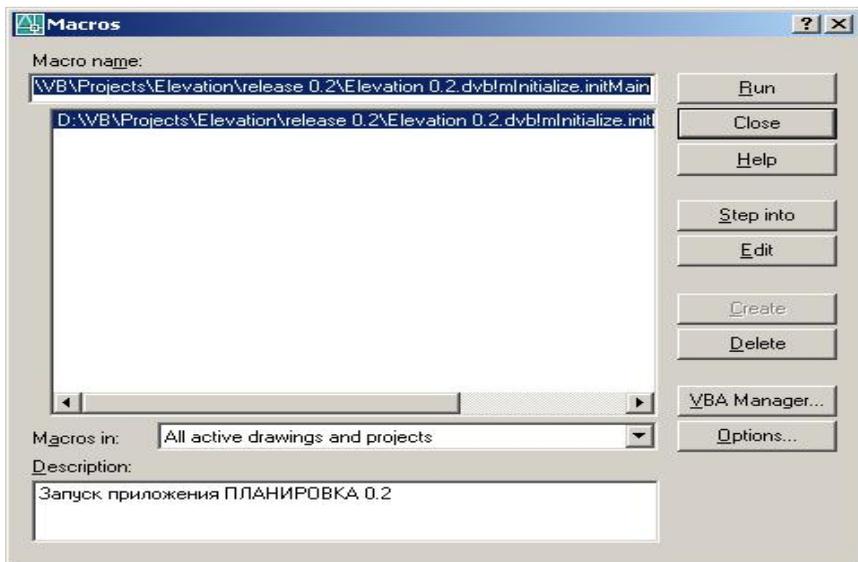


Рис. 11.7. Запуск приложения ПЛАНИРОВКА 0.2

6. В случае успешной загрузки приложения в AutoCAD появится дополнительное меню **Планировка** и две панели: Планировка: точки, уклоны, горизонтالي; Планировка: редактирование точек (рис. 11.8). Меню содержит все доступные функции приложения: панели предназначены для быстрого вызова основных команд.

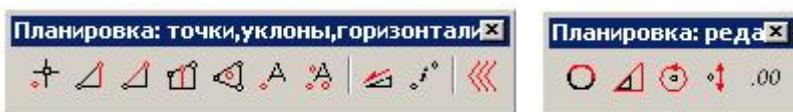


Рис. 11.8. Панели инструментов приложения

Точки создаются в виде блоков (точнее, в виде вхождений блока Block Reference). Вся информация о точке (высота, номер, код и т. п.) хранится в виде атрибутов блока. Видимость отдельных атрибутов можно включить/отключить и таким образом настроить внешний вид блока. Помимо управления видимостью отдельных атрибутов можно настраивать точность отображения координат точки, взаим-

ное расположение атрибутов, масштаб и угол поворота блока. Координаты точки в плане соответствуют точке вставки блока. При этом предполагается следующий масштаб чертежа в AutoCAD: 1 ед. чертежа = 1 м. Геодезическая ось *OX* (направление на север) соответствует в AutoCAD оси *OY* и направлена снизу вверх; геодезическая ось *OY* (направление на восток) соответствует в AutoCAD оси *OX* и направлена слева направо.

Высота вставки блока принимается равной либо нулю (2D-блок), либо высоте точки, которую данный блок изображает (3D-блок). Данный параметр настраивается в окне **Планировка – Настройка – Параметры создания новых точек – Тип блока**.

Приложение поддерживает импорт точек из текстового файла и из точек AutoCAD.

Из текстового файла – функция импорта точек из текстового файла. Настройки по импорту точек и предварительный просмотр файла осуществляются в окне **Импорт точек из текстового файла** (рис. 11.9).

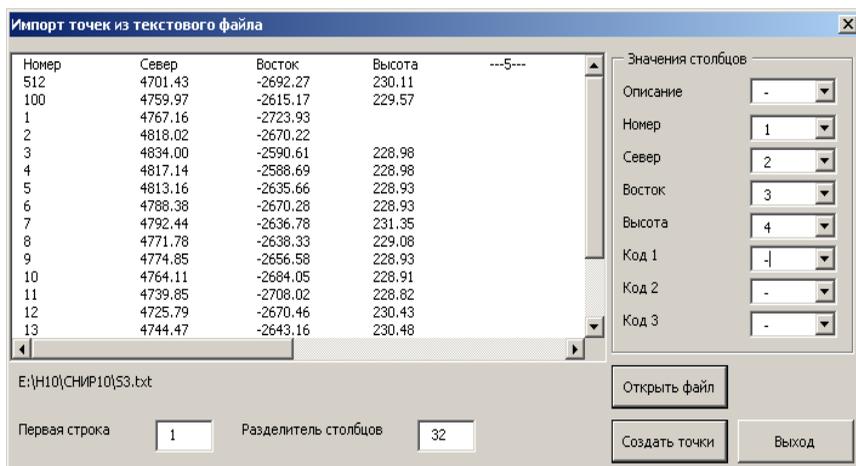


Рис. 11.9. Импорт точек из текстового файла

Файл должен состоять из строк, каждая из которых описывает одну точку. В каждой строке записаны координаты точки, ее описание, номер, код и т. п. Значения (столбцы) разделяются между со-

бой с помощью некоторого символа (указывается в поле **Разделитель столбцов** в виде кода символа или непосредственно вводится сам символ). Порядок столбцов может быть любым, но одинаковым для всего файла. Значение каждого столбца указывается в полях **Значения столбцов**. Разделителем целой и дробной части для действительных чисел может быть либо точка, либо запятая. Символы разделителя целой и дробной части и разделитель столбцов должны быть различны. Перед строками с описанием точек может располагаться произвольное количество строк со служебной информацией. Данные строки будут пропущены. Номер строки, с которой необходимо начать чтение точек, задается в поле **Первая строка**. Описание каждой точки состоит из шести столбцов, разделенных пробелом и обозначающих номер точки, северную и восточную координаты, высоту, описание и код точки соответственно.

По умолчанию в качестве блока для отображения точек используется блок **m\_point\_01**. На основе данного блока можно создать любой другой блок и указать его в качестве блока для вставки точек (**Планировка – Настройка – Параметры создания новых точек: Имя блока для вставки точки**). Главное, чтобы созданный блок содержал те же атрибуты, что и блок **m\_point\_01** (рис. 11.9).

Предусмотрено три способа выбора слоя, в который будут вставлены созданные точки:

- текущий – точки будут вставлены в текущий слой;
- по описанию точки – точки будут вставлены в слой, имя которого соответствует описанию точки; если описание точки содержит строку, которая не может быть именем слоя, то точка будет вставлена в текущий слой;
- определенный – точки будут вставлены в слой, определенный пользователем.

Способ определения слоя для вставки точек указывается в окне **Планировка – Настройка – Параметры создания новых точек – Слой точки**.

Горизонтали – функция строит горизонтали внутри треугольника, заданного тремя выбранными точками. Шаг горизонталей задается непосредственно перед их построением. Слой, в котором они будут созданы, выбирается в окне **Планировка – Настройка – Дополнительные настройки – Слой горизонталей**.

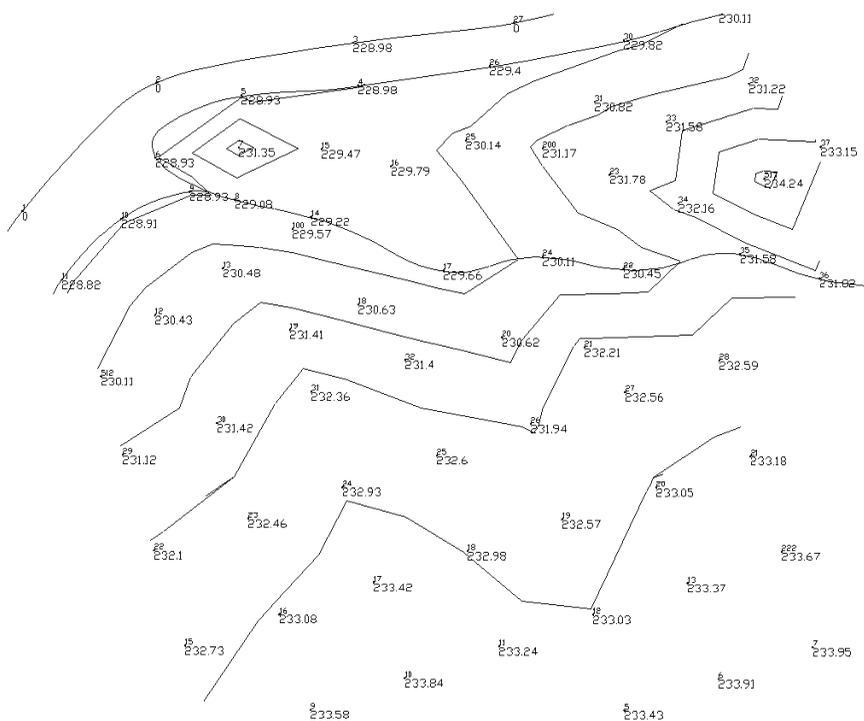


Рис. 11.10. Результаты автоматизированного построения горизонталей по треугольникам

Горизонталы строятся в виде отрезков, которые в последующем можно преобразовать в полилинии и сгладить. Фрагменты топографического плана и продольного профиля автодороги, построенные в автокаде, приведены на рис. 11.11 и 11.12.

Сравнение программ можно производить по множеству признаков: скорость выполнения задачи, удобство пользовательского интерфейса, возможность эксплуатации в контакте с новейшим измерительным оборудованием, а также с другими программными пакетами и приложениями. Все эти отдельные черты на прямую зависят друг от друга, т. е. удобство интерфейса кроме как от функций на панели инструментов и задач зависит и от возможности применения про-

граммы в контакте с современным оборудованием. Чем удобнее интерфейс, тем быстрее можно выполнить поставленную задачу. Следовательно, эффективность работы с любыми программами можно определить, применив их на практике для конкретной задачи.

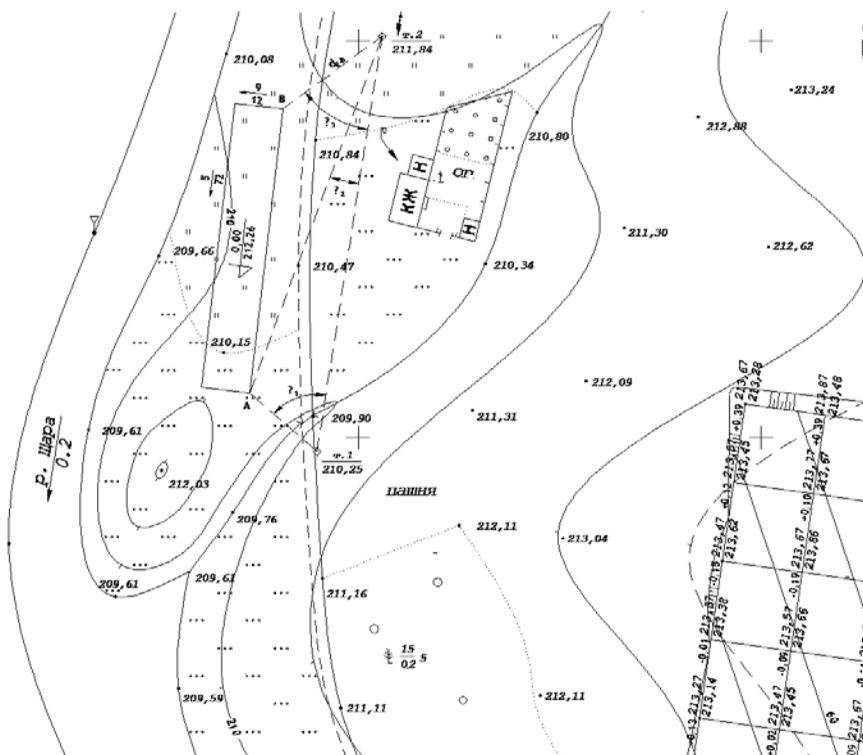


Рис. 11.11. Фрагмент учебного топографического плана с элементами проектирования

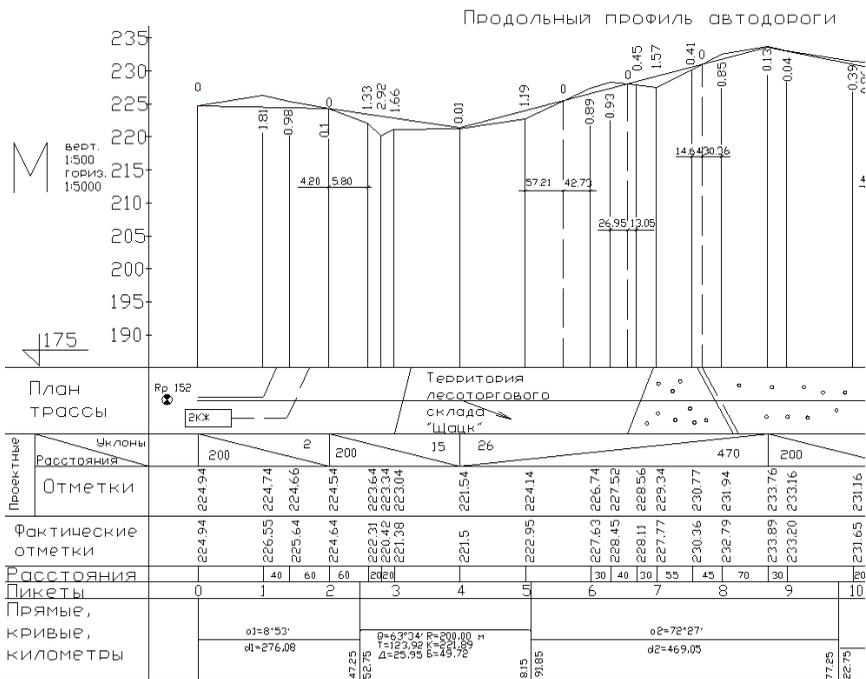


Рис. 11.12. Фрагмент учебного профиля автодороги с элементами проектирования

## ЛИТЕРАТУРА

1. Селиханович, В. Г. Геодезия : в 2 ч. / В. Г. Селиханович. – М. : Недра, 1981. – Ч. 2. – 535 с.
2. Селиханович, В. Г. Практикум по геодезии / В. Г. Селиханович, В. П. Козлов, Г. П. Логинов. – М. : Недра, 1978. – 382 с.
3. Будо, Ю. П. Геодезия : учебно- методический комплекс : в 2 ч. / Ю. П. Будо. – Новополоцк : ПГУ, 2008. – Ч. 2. – 264 с.
4. Помелов, С. И. Геодезия : программа учебной практики и методические указания по ее проведению / С. И. Помелов, П. В. Другаков. – Горки : БГСХА, 2007. – 32 с.
5. Практикум по геодезии / В. В. Баканова [и др.]. – М. : Недра, 1983. – 456 с.
6. Маслов, А. В. Геодезия / А. В. Маслов, А. В. Гордеев, Ю. Г. Батраков. – М. : Колосс, 2006. – 598 с.
7. Перфилов, В. Ф. Геодезия / В. Ф. Перфилов. – М. : Высшая школа, 2006. – 350 с.
8. Поклад, Г. Г. Геодезия / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. – М. : Академический проспект, 2007. – 592 с.
9. Геодезия. Топографические съемки : справочное пособие / Ю. К. Неумывакин [и др.]. – М. : Недра, 1991. – 317 с.
10. Государственная геодезическая сеть Республики Беларусь. Государственный банк геодезических данных Республики Беларусь. Основные положения. Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь : ТКП 046–2006. – Введ. 01.02.2007. – Минск : Гос. комитет по имуществу Респ. Беларусь, 2007. – 12 с.
11. Инструкция по полигонометрии и трилатерации. – М. : Недра, 1976. – 105 с.
12. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. – М. : Недра, 1990. – 167 с.
13. Инструкция по топографическим съемкам масштабов 1:5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500 : ГКИНП 02-033–82. – М. : Недра, 1982. – 160 с.



## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Лабораторная работа № 1. ПОВЕРКИ НИВЕЛИРОВ И РЕЕК. ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ.....  | 3  |
| Лабораторная работа № 2. УРАВНИВАНИЕ ОДИНОЧНОГО НИВЕЛИРНОГО ХОДА III КЛАССА.....   | 5  |
| Лабораторная работа № 3. УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ III ИЛИ IV КЛАССА СПОСОБОМ ПОЛИГОНОВ.....   | 8  |
| Лабораторная работа № 4. УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ III ИЛИ IV КЛАССА СПОСОБОМ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ЗАМЕНЫ.....                                | 14 |
| Лабораторная работа № 5. УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ III ИЛИ IV КЛАССА СПОСОБОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ.....                        | 19 |
| Лабораторная работа № 6. УСТРОЙСТВО, ПОВЕРКИ И ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ ТОЧНЫМИ ТЕОДОЛИТАМИ.....  | 22 |
| Лабораторная работа № 7. ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИМИ ЗВЕНЬЯМИ.....  | 27 |
| Лабораторная работа № 8. ОБРАБОТКА ТРИАНГУЛЯЦИИ 2-ГО РАЗРЯДА.....  | 31 |
| Лабораторная работа № 9. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ СВЕТОДАЛЬНОМЕРОМ (ЛАЗЕРНЫМ ДАЛЬНОМЕРОМ).....   | 46 |
| Лабораторная работа № 10. ОЗНАКОМЛЕНИЕ С РАБОТОЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ И ТАХЕОМЕТРОВ.....  | 51 |
| Лабораторная работа № 11. КРАТКИЙ ОБЗОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗОВАННОГО ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ И ПРОФИЛЕЙ..... | 56 |
| Литература.....  | 74 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ.....  | 75 |

Учебное издание

## **ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ**

Лабораторный практикум  
для студентов специальности  
1-56 02 01 «Геодезия»

В 2 частях

Часть 1

Составитель

**КУПРИЕНКО** Николай Олегович

Редактор *Т. В. Грищенкова*

Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 10.08.2016. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 4,48. Уч.-изд. л. 3,50. Тираж 100. Заказ 223.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.