

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)

**Кафедра инженерной геодезии**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ  
№ 1 И № 2**

Методические указания  
для студентов 2-го курса, обучающихся по направлениям  
подготовки 07.03.01 «Архитектура», 07.03.02 «Реконструкция  
и реставрация архитектурного наследия»,  
07.03.04 «Градостроительство», 08.03.01 «Строительство»,  
20.03.02 «Природообустройство и водопользование»  
и специальностям 08.05.01 «Строительство уникальных  
зданий и сооружений», 21.05.01 «Прикладная геодезия»

НОВОСИБИРСК 2023

Методические указания подготовлены  
ассистентом кафедры инженерной геодезии Д.О. Григорьевым  
и ст. преподавателем кафедры инженерной геодезии  
П.Н. Губониным.

Утверждены учебно-методической комиссией  
инженерно-экологического факультета  
9 октября 2023 года

Рецензенты:

- А.А. Караваев, ст. преподаватель кафедры  
инженерной геодезии НГАСУ (Сибстрин);
- Л.Г. Петрова, ст. преподаватель кафедры  
инженерной геодезии НГАСУ (Сибстрин)

© Новосибирский государственный  
архитектурно-строительный  
университет (Сибстрин), 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 1.<br>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ<br>ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ.....                                          | 2  |
| 1.1. Общие сведения о теодолитной съемке .....                                                                                             | 2  |
| 1.2. Камеральная обработка результатов<br>теодолитного хода.....                                                                           | 3  |
| 1.3. Вычисление угловой невязки и расчет<br>исправленных углов .....                                                                       | 6  |
| 1.4. Расчет дирекционных углов и румбов .....                                                                                              | 7  |
| 1.5. Расчет приращений координат. Расчет невязок<br>приращений координат. Расчет линейной<br>и относительной невязок в периметре хода..... | 9  |
| 1.6. Расчет исправленных приращений координат .....                                                                                        | 11 |
| 1.7. Прямая геодезическая задача. Расчет координат<br>точек теодолитного хода .....                                                        | 12 |
| 1.8. Пример расчета ведомости координат .....                                                                                              | 13 |
| 2. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2.<br>ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА.....                                                                             | 20 |
| 2.1. Обработка журнала нивелирования поверхности .....                                                                                     | 20 |
| 2.2. Построение и оформление плана<br>нивелирования поверхности .....                                                                      | 22 |
| 2.3. Проектирование горизонтальной площадки.....                                                                                           | 25 |
| 2.4. Проектирование наклонной площадки .....                                                                                               | 30 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....                                                                                                      | 33 |
| СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....                                                                                                       | 33 |

# 1. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 1.

## Математическая обработка результатов теодолитной съемки

Для выполнения индивидуального задания № 1 каждый студент должен получить у своего преподавателя вариант исходного дирекционного угла стороны 1-2 ( $\alpha_{1-2}$ ) и начальные координаты точки 1 ( $X_1, Y_1$ ).

Целью индивидуального задания является расчет ведомости координат замкнутого теодолитного хода, в результате которого получаются координаты характерных точек границ земельного участка. На основе рассчитанных координат студент выполняет лабораторную работу № 6 «Построение плана теодолитной съемки» с помощью программных продуктов КОМПАС, папоСАД и др. в масштабе 1:2000.

**ВАЖНО!** *Строить план теодолитной съемки студент может только тогда, когда преподаватель проверил и зачел индивидуальное задание № 1.*

### 1.1. Общие сведения о теодолитной съемке

*Теодолитная съемка* – горизонтальная (контурная) съемка местности, которая выполняется с помощью теодолита и дальномера или рулетки. Теодолитом измеряются горизонтальные углы и углы наклона [1]. Длины сторон измеряются стальной рулеткой или электронным тахеометром. При выполнении теодолитной съемки прокладывают теодолитные ходы.

*Теодолитный ход* – геодезическое построение на местности в виде ломаной линии, в которой измерены горизонтальные углы между смежными сторонами и длины всех сторон [1].

Теодолитный ход может быть двух видов: замкнутый (рис. 1) и разомкнутый (рис. 2). Для получения координат начальной точки и исходного дирекционного угла замкнутый теодолитный ход опирают на пункты государственной геодезической сети с использованием примычных углов ( $\beta_{\text{прим}}$ ).

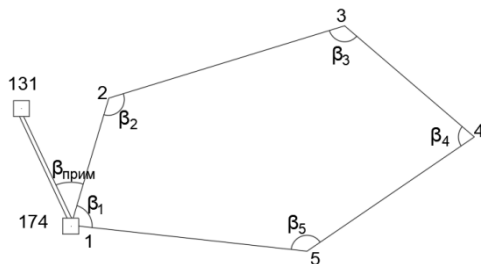


Рис. 1. Пример замкнутого теодолитного хода

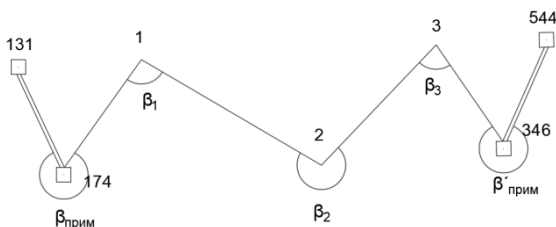


Рис. 2. Пример разомкнутого теодолитного хода

## 1.2. Камеральная обработка результатов теодолитного хода

В индивидуальном задании № 1 на местности был проложен замкнутый теодолитный ход, представленный на рис. 3. Внутренние горизонтальные углы были измерены теодолитом 4Т30П, результаты измерений представлены в табл. 1. Длины сторон теодолитного хода были измерены стальной 50-метровой рулеткой в прямом и обратном направлениях (обратное направление измеряется с целью контроля) с относительной ошибкой 1:2000. Результаты измерения длин линий записаны в соответствующем столбце табл. 1 (над чертой – прямое значение длины, под чертой – обратное).

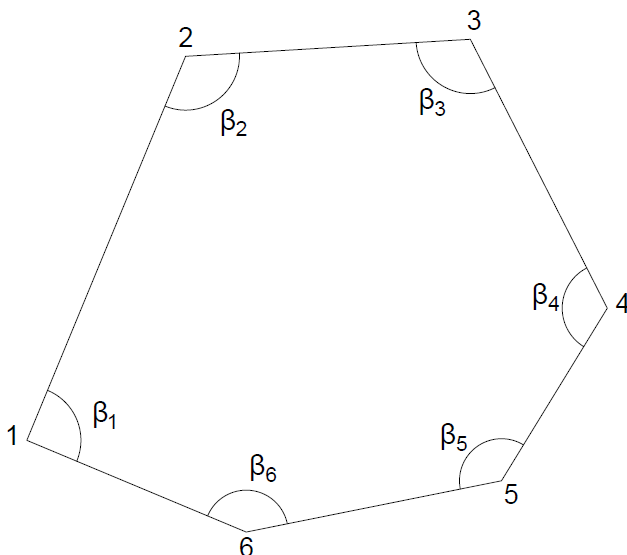


Рис. 3. Схема теодолитного хода

После проверки вычислений в журнале измерения углов начинается обработка теодолитного хода: в ведомость заносят координаты значений горизонтальных углов и длин линий из журнала измерения углов и длин линий. В столбец 1 ведомости координат (табл. 4) выписывают номера точек (так как теодолитный ход замкнутый, то в конце записи необходимо еще раз продублировать начальную точку). В столбец 2 ведомости координат из столбца 5 табл. 1 напротив номеров точек выписывают соответствующие средние значения горизонтальных углов. В столбец 4 ведомости координат из столбца 6 табл. 1 выписывают средние значения длин линий, округляя их до 0,01 м. Углы наклона измеряют теодолитом для введения поправки за наклон линии [2]. Если угол наклона линии меньше или равен  $1^\circ$ , тогда поправку за наклон не вводят и считают, что длина линии и ее горизонтальное проложение – это одно и то же значение. Если угол наклона превышает  $1^\circ$  ( $v \geq 1^\circ$ ), тогда горизонтальное проложение рассчитывают по формуле

$$d = D \cdot \cos(v) \quad (1)$$

Таблица 1

## Журнал измерения горизонтальных углов и длин линий

| № точек стояния | № наблюдаемых точек | Отсчеты |      | Угол |      | Среднее из углов |      | Длины линий, м | Угол наклона |  |  |  |  |
|-----------------|---------------------|---------|------|------|------|------------------|------|----------------|--------------|--|--|--|--|
|                 |                     | °       | '    | °    | '    | °                | '    |                |              |  |  |  |  |
| 1               | 2                   | 3       |      | 4    |      | 5                |      | 6              | 7            |  |  |  |  |
| 1               | 6                   | 261     | 11,5 | 101  | 10,5 | 101              | 10,5 | 335,31         | 0°59,0'      |  |  |  |  |
|                 | 2                   | 160     | 01,0 |      |      |                  |      |                |              |  |  |  |  |
|                 | 6                   | 82      | 35,0 | 101  | 10,5 |                  |      |                |              |  |  |  |  |
|                 | 2                   | 341     | 24,5 |      |      |                  |      |                |              |  |  |  |  |
| 2               | 1                   | 175     | 27,0 | 118  | 03,0 | 118              | 03,2 | 335,27         | 0°40,0'      |  |  |  |  |
|                 | 3                   | 57      | 24,0 |      |      |                  |      |                |              |  |  |  |  |
|                 | 1                   | 354     | 04,5 | 118  | 03,5 |                  |      |                |              |  |  |  |  |
|                 | 3                   | 236     | 01,0 |      |      |                  |      |                |              |  |  |  |  |
| 3               | 2                   | 246     | 47,0 | 103  | 31,5 | 103              | 31,5 | 177,77         | 0°28,5'      |  |  |  |  |
|                 | 4                   | 143     | 15,5 |      |      |                  |      |                |              |  |  |  |  |
|                 | 2                   | 65      | 38,0 | 103  | 31,5 |                  |      |                |              |  |  |  |  |
|                 | 4                   | 322     | 06,0 |      |      |                  |      |                |              |  |  |  |  |
| 4               | 3                   | 179     | 03,0 | 123  | 22,0 | 123              | 22,0 | 257,25         | 0°13,0'      |  |  |  |  |
|                 | 5                   | 55      | 41,0 |      |      |                  |      |                |              |  |  |  |  |
|                 | 3                   | 357     | 54,0 | 123  | 22,0 |                  |      |                |              |  |  |  |  |
|                 | 5                   | 234     | 32,0 |      |      |                  |      |                |              |  |  |  |  |
| 5               | 4                   | 145     | 41,5 | 131  | 01,0 | 131              | 01,5 | 185,79         | 0°20,0'      |  |  |  |  |
|                 | 6                   | 14      | 40,5 |      |      |                  |      |                |              |  |  |  |  |
|                 | 4                   | 324     | 17,5 | 131  | 02,0 |                  |      |                |              |  |  |  |  |
|                 | 6                   | 193     | 15,5 |      |      |                  |      |                |              |  |  |  |  |
| 6               | 5                   | 27      | 57,5 | 142  | 49,5 | 142              | 49,5 | 166,57         | 0°26,0'      |  |  |  |  |
|                 | 1                   | 129     | 08,0 |      |      |                  |      |                |              |  |  |  |  |
|                 | 5                   | 207     | 04,0 | 142  | 49,5 |                  |      |                |              |  |  |  |  |
|                 | 1                   | 67      | 14,5 |      |      |                  |      |                |              |  |  |  |  |
|                 |                     |         |      |      |      |                  |      | 132,10         |              |  |  |  |  |

### 1.3. Вычисление угловой невязки и расчет исправленных углов

Для проверки правильности и качества полевых измерений горизонтальных углов необходимо рассчитать угловую невязку теодолитного хода ( $f_{\beta}$ ) и сравнить ее с допустимой невязкой ( $f_{\beta\text{доп}}$ ).

Угловая невязка в теодолитном ходе ( $f_{\beta}$ ) – это разница между измеренной (практической) суммой углов ( $\sum\beta_{\text{изм.}}$ ) и теоретическим ее значением ( $\sum\beta_{\text{теор.}}$ ), т.е.

$$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{изм.}} - \sum \beta_{\text{теор.}} \quad (2)$$

Теоретическая сумма углов определяется по формуле

$$\sum \beta_{\text{теор.}} = 180^{\circ} \cdot (n - 2), \quad (3)$$

где  $n$  – число углов хода.

Качество измерений горизонтальных углов оценивается допустимой угловой невязкой, рассчитанной по формуле

$$f_{\beta\text{доп}} = \pm 2 \cdot t \cdot \sqrt{n}, \quad (4)$$

где  $t$  – точность прибора.

Для теодолита 4Т30П точность прибора равна  $30''$ , следовательно, двойная точность этого прибора будет равна  $1'$ , тогда формула (4) может быть преобразована к следующему виду:

$$f_{\beta\text{доп}} = \pm 1' \cdot \sqrt{n} \quad (4')$$

Если в результате расчета угловой невязки выполнилось неравенство  $f_{\beta} \leq f_{\beta\text{доп}}$ , т.е. полученная угловая невязка меньше или равна допустимой, то в этом случае угловую следует распределить поровну на все углы с противоположным знаком [3]. Для этого необходимо вычислить поправки ( $\vartheta_{\beta}$ ) по формуле

$$\vartheta_{\beta} = -\frac{f_{\beta}}{n} \quad (5)$$

Знак (-) в формуле (5) говорит о том, что поправки будут вводиться с противоположным знаком.

**ВАЖНО!** *Поправки выписываются строго над тем разрядом, в который они вводятся. Поправка записывается целым числом (например, если в результате расчета получилась поправка +0,5', то в ведомость координат над разрядом десятых долей минуты пишется +5).*

После введения поправок необходимо выполнить контроль по формуле

$$\sum \vartheta_{\beta i} = -f_{\beta} \quad (6)$$

После контроля распределения поправок переходят к расчету исправленных углов ( $\beta_{\text{испр.}i}$ ). Исправленный горизонтальный угол рассчитывается как измеренный горизонтальный угол плюс поправка, т.е.

$$\beta_{\text{испр.}i} = \beta_{\text{изм.}i} + \vartheta_{\beta} \quad (7)$$

Определив исправленные углы, необходимо выполнить контроль исправленных углов по формуле (8), внося  $\sum \beta_{\text{испр.}}$  в столбец 3 табл. 4.

$$\sum \beta_{\text{испр.}} = \sum \beta_{\text{теор.}} \quad (8)$$

#### 1.4. Расчет дирекционных углов и румбов

Выполнив контроль исправленных углов по формуле (8), переходят к расчету дирекционных углов.

Первый (исходный) дирекционный угол задается преподавателем. Последующие дирекционные углы студенту необходимо рассчитать самостоятельно.

Дирекционные углы вычисляют по формуле

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + 180^\circ - \beta_{\text{испр.}i+1}, \quad (9)$$

где  $\alpha_{i+1}$  – последующий дирекционный угол;  $\alpha_i$  – предыдущий дирекционный угол;  $\beta_{\text{испр.}i+1}$  – справа по ходу лежащий исправленный горизонтальный угол.

Поскольку в индивидуальном задании № 1 теодолитный ход является замкнутым, то студент должен проконтролировать себя в расчете дирекционных углов таким образом: к последнему дирекционному углу прибавить  $180^\circ$  и отнять первый исправленный угол, в результате должен получиться начальный (исходный) дирекционный угол.

После выполнения контроля дирекционных углов рассчитывают румбы, применяя формулы, представленные в табл. 2 [3]. Значение румбов необходимо для подписи на плане ориентирного направления каждой линии. При расчете румбов необходимо помнить, что румб всегда сопровождается названием четверти, в которой он расположен.

**ВАЖНО!** Румб – острый угол в пределах от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , следовательно, румб никогда не может быть больше  $90^\circ$ .

Таблица 2

Перевод дирекционных углов в румбы

| Дирекционный угол             | Название румба | Расчетная формула        | Пример записи румба в ведомость координат |
|-------------------------------|----------------|--------------------------|-------------------------------------------|
| 1                             | 2              | 3                        | 4                                         |
| $0^\circ\text{--}90^\circ$    | СВ             | $r = \alpha$             | СВ: $12^\circ 27,2'$                      |
| $90^\circ\text{--}180^\circ$  | ЮВ             | $r = 180^\circ - \alpha$ | ЮВ: $87^\circ 36,0'$                      |
| $180^\circ\text{--}270^\circ$ | ЮЗ             | $r = \alpha - 180^\circ$ | ЮЗ: $53^\circ 59,7'$                      |
| $270^\circ\text{--}360^\circ$ | СЗ             | $r = 360^\circ - \alpha$ | СЗ: $47^\circ 01,9'$                      |

### 1.5. Расчет приращений координат.

#### Расчет невязок приращений координат.

#### Расчет линейной и относительной невязок в периметре хода

После того как получены значения румбов, переходят к расчету приращений координат ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ):

$$\Delta x = d \cdot \cos(\alpha), \quad (10)$$

$$\Delta y = d \cdot \sin(\alpha), \quad (11)$$

где  $d$  – горизонтальное проложение (длина линии);  $\alpha$  – дирекционный угол этой же линии.

**ВАЖНО!** Приращения координат пишутся со знаком (+) или (-) и вычисляются с такой же точностью, как и длины сторон.

Определив приращения координат ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ), рассчитывают невязки в приращениях координат ( $f_x$ ,  $f_y$ ):

$$f_x = \sum \Delta x_{\text{выч.}} - \sum \Delta x_{\text{теор.}}, \quad (12)$$

$$f_y = \sum \Delta y_{\text{выч.}} - \sum \Delta y_{\text{теор.}}, \quad (13)$$

где  $\sum \Delta x_{\text{выч.}}$  и  $\sum \Delta y_{\text{выч.}}$  – вычисленные суммы приращений координат;  $\sum \Delta x_{\text{теор.}}$  и  $\sum \Delta y_{\text{теор.}}$  – теоретические суммы приращений координат.

Поскольку в индивидуальном задании теодолитный ход замкнут, то  $\sum \Delta x_{\text{теор.}} = 0$  и  $\sum \Delta y_{\text{теор.}} = 0$ , и формулы (12), (13) будут выглядеть следующим образом:

$$f_x = \sum \Delta x_{\text{выч.}} \quad (12')$$

$$f_y = \sum \Delta y_{\text{выч.}} \quad (13')$$

Получив невязки в приращениях координат ( $f_x$ ,  $f_y$ ), необходимо оценить их допустимость. Для этого рассчитывают линей-

ную невязку в периметре хода ( $f_L$ ) и относительную невязку ( $f_L/L$ ). Линейная невязка определяется по формуле

$$f_L = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (14)$$

Относительная невязка рассчитывается по формуле (15) и должна быть меньше или равна 1/2000, т.е.

$$\frac{f_L}{L} = \frac{f_L/f_L}{L/f_L} = \frac{1}{L/f_L} \leq \frac{1}{2000}, \quad (15)$$

где  $L$  – периметр хода, м.

Если выполняется неравенство, указанное в формуле (15) (т.е. полученная невязка меньше или равна допустимой), то следующим шагом является расчет поправок в приращения координат по формулам (16), (17). Поправки в приращения координат вводятся пропорционально длинам линий (т.е. чем больше длина линии, тем поправка в нее будет больше, и наоборот).

$$\vartheta_{xi} = -\frac{f_x}{L} \cdot d_i \quad (16)$$

$$\vartheta_{yi} = -\frac{f_y}{L} \cdot d_i \quad (17)$$

После расчета поправок, их выписывают в вычисленные приращения координат строго над тем разрядом, к которому эта поправка относится.

**ВАЖНО!** *Поправки пишутся со знаком (+) или (-). Поправки по  $\Delta x$  или  $\Delta y$  всегда одного знака (если невязка со знаком (-), то все поправки будут со знаком (+), и наоборот). По формулам (16), (17) поправки будут получаться в метрах, но записывают их целыми числами в сантиметрах над разрядностью*

сантиметров. Например, если поправка получилась  $+0,08$  м, то в ведомость координат ее записывают  $+8$ .

Важным этапом после распределения поправок является их контроль. Контроль поправок в приращения координат осуществляется по следующим формулам:

$$\sum \vartheta_{xi} = -f_x \quad (18)$$

$$\sum \vartheta_{yi} = -f_y \quad (19)$$

При выполнении контроля может получиться так, что сумма поправок по  $\Delta x$  или  $\Delta y$  отличается от значения невязок  $f_x$  или  $f_y$  от 1 до 3 см. Связано это с округлением чисел. В таком случае, если сумма поправок меньше невязки, необходимо добавить 1 см в поправки самых длинных сторон теодолитного хода. Если же сумма поправок оказалась больше невязки на 1 или 2 см, тогда необходимо вычесть по 1 см из поправок самых коротких сторон теодолитного хода.

### 1.6. Расчет исправленных приращений координат

Исправленные приращения координат вычисляются по следующим формулам:

$$\Delta x_{\text{испр.}i} = \Delta x_{\text{выч.}i} + \vartheta_{xi} \quad (20)$$

$$\Delta y_{\text{испр.}i} = \Delta y_{\text{выч.}i} + \vartheta_{yi} \quad (21)$$

Контролем правильности вычисления исправленных приращений координат является выполнение равенств  $\sum \Delta x_{\text{испр.}i} = 0,00$  и  $\sum \Delta y_{\text{испр.}i} = 0,00$ .

## 1.7. Прямая геодезическая задача.

### Расчет координат точек теодолитного хода

Идея расчета ведомости координат теодолитного хода сводится к решению прямой геодезической задачи, которая заключается в том, что по координатам начала линии ( $X_H$ ,  $Y_H$ ), ее длине  $d$  и направлению этой линии (дирекционному углу)  $\alpha$  определяют координаты конца линии ( $X_K$ ,  $Y_K$ ) (см. рис. 4) [1]. Прямая геодезическая задача решается по формулам (22), (23), которые легко выводятся из рис. 4.

$$X_K = X_H + d \cdot \cos(\alpha) \quad (22)$$

$$Y_K = Y_H + d \cdot \sin(\alpha) \quad (23)$$

Координаты точки 1 задаются преподавателем, координаты остальных точек рассчитывают по правилу: координата последующей точки равна координате предыдущей точки плюс исправленное приращение, т.е.

$$X_{i+1} = X_i + \Delta x_i \quad (24)$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta y_i \quad (25)$$

Так как теодолитный ход замкнут, то контролем правильности расчета координат точек будет являться получение в конце вычислений начальных координат. На этом расчет ведомости координат завершается.

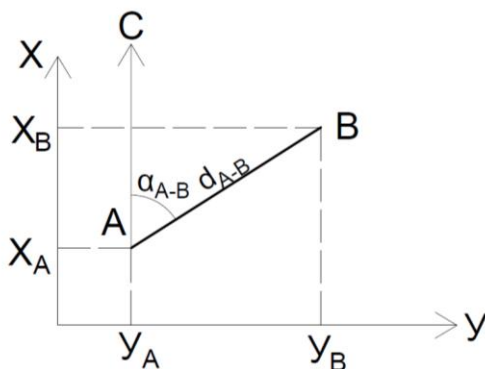


Рис. 4. Прямая геодезическая задача

### 1.8. Пример расчета ведомости координат

Рассмотрим пример расчета ведомости координат замкнутого теодолитного хода по следующим данным:

- дирекционный угол линии 1-2:  $\alpha_{1-2} = 10^\circ 40,0'$ ;
- координаты точки 1:  $X_1 = +500,00$  м;  $Y_1 = +500,00$  м.

Расчет ведется в табл. 4 по алгоритму:

1. *Выписывают из журнала измерения углов из столбцов 1, 5 и 6 номера точек, измеренные (средние) углы и длины линий (длина линии рассчитывается как среднее значение прямого и обратного измерений с округлением до 0,01 м) в столбцы 1, 2 и 6 ведомости координат соответственно. Поскольку теодолитный ход замкнут, то первую точку в первом столбце дублируют (номер точки 1 пишут еще раз под точкой 6).*

2. *Производят расчет угловой невязки теодолитного хода и рассчитывают исправленные углы согласно п. 1.3.*

Для расчета угловой невязки считают сумму измеренных углов и теоретическую сумму углов для представленного шестиугольника:

$$\begin{aligned}\sum \beta_{\text{изм.}} &= \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_6 \\ \sum \beta_{\text{изм.}} &= 101^\circ 10,5' + 118^\circ 03,2' + \dots + 142^\circ 49,5' = 719^\circ 58,2' \\ \sum \beta_{\text{теор.}} &= 180^\circ \cdot (6 - 2) = 720^\circ 00,0'\end{aligned}$$

Угловая невязка рассчитывается по формуле (2):

$$f_\beta = 719^\circ 58,2' - 720^\circ 00,0' = -01,8'$$

Допустимая угловая невязка определяется по формуле (4'):

$$f_{\beta \text{ доп}} = \pm 1' \cdot \sqrt{6} \approx \pm 02,4'$$

Поскольку полученная невязка получилась меньше допустимой, ее необходимо распределить поровну на все углы с обратным знаком. Для этого рассчитывают поправки по формуле (5):

Полученную поправку необходимо выписать над каждым из измеренных углов, строго над разрядом десятичных долей минут, и осуществить контроль по формуле (6):

Сумма поправок получилась равной невязке с обратным знаком, следовательно, поправки рассчитаны верно. Далее вычисляют исправленные углы по формуле (7):

Рассчитав исправленные углы, необходимо выполнить контроль по формуле

3. Убедившись, что выполняется условие: сумма исправленных углов равна теоретической сумме углов, переходят к расчету дирекционных углов. Дирекционный угол стороны 1-2 задается преподавателем. В данном случае  $\alpha_{1-2} = 10^{\circ}40,0'$ . Расчет остальных углов ведется по формуле (9):

$$\begin{aligned}\alpha_{2-3} &= \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_{\text{испр.2}} = 10^\circ 40,0' + 180^\circ - 118^\circ 03,5' = 72^\circ 36,5' \\ \alpha_{3-4} &= \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_{\text{испр.3}} = 72^\circ 36,5' + 180^\circ - 103^\circ 31,8' = 149^\circ 04,3' \\ &\dots\dots\dots \\ \alpha_{6-1} &= \alpha_{5-6} + 180^\circ - \beta_{\text{испр.6}} = 254^\circ 40,6' + 180^\circ - 142^\circ 49,8' = 291^\circ 50,8'\end{aligned}$$

Получив дирекционный угол  $\alpha_{6-1}$ , необходимо проконтролировать правильность расчета дирекционных углов. Для этого следует к дирекционному углу  $\alpha_{6-1}$  прибавить  $180^\circ$ , затем вычесть  $\beta_{\text{испр.1}}$ . В результате должен получиться начальный дирекционный угол  $\alpha_{1-2}$ :

$$\begin{aligned}\alpha_{6-1} + 180^\circ - \beta_{\text{испр.1}} &= 291^\circ 50,8' + 180^\circ - 101^\circ 10,8' = 370^\circ 40,0' - 360^\circ \\ \alpha_{6-1} + 180^\circ - \beta_{\text{испр.1}} &= 10^\circ 40,0'\end{aligned}$$

#### *4. Рассчитывают румбы на основании дирекционных углов и табл. 2.*

Дирекционный угол стороны теодолитного хода 1-2 равен  $\alpha_{1-2} = 10^\circ 40,0'$ . Румб этой стороны определяется следующим образом: сначала по столбцу 1 табл. 2 определяют интервал, в котором находится дирекционный угол этой стороны, затем из столбца 2 определяют название четверти румба и по столбцу 3 рассчитывают численное значение румба.

Поскольку дирекционный угол стороны 1-2 попал в интервал от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , следовательно, название румба будет северо-восток (СВ), а его численное значение – точно такое же, как и у дирекционного угла, так как в этом интервале дирекционный угол численно равен румбу. В итоге в ведомость координат будет записано СВ:  $10^\circ 40,0'$ .

Для лучшего усвоения теории рассмотрим румб стороны 3-4. Дирекционный угол стороны теодолитного хода 3-4:  $\alpha_{3-4} = 149^\circ 04,7'$ . Дирекционный угол стороны 3-4 попал в интервал от  $90^\circ$  до  $180^\circ$ , следовательно, название румба будет юго-восток (ЮВ), а его численное значение – рассчитано по формуле  $180 - \alpha$ , т.е.  $180 - 149^\circ 04,7' = 30^\circ 55,3'$ . В итоге в ведомость координат будет записано ЮВ:  $30^\circ 55,3'$ .

### 5. Расчет приращений координат ( $\Delta x$ , $\Delta y$ ) и невязок.

Приращения координат рассчитываются по формулам (10), (11).

Перед расчетом приращений координат необходимо проверить калькулятор телефона, с помощью которого будут осуществляться вычисления. Для этого следует набрать  $\sin(30)$ . Если синус  $30^\circ$  будет равен 0,5, можно производить расчет.

Так как дирекционный угол измеряется в градусах и минутах, а в формулы (10), (11) необходимо подставлять значение в градусах, минуты следует перевести в доли градусов. Для расчета приращений координат с помощью калькулятора рекомендуется использовать следующие формулы:

$$\Delta x_1 = d_1 \cdot \cos(\alpha_{1-2}) = 335,29 \cdot \cos\left(\left(\frac{40,0}{60}\right) + 10\right) = +329,50 \text{ м}$$

$$\Delta y_1 = d_1 \cdot \sin(\alpha_{1-2}) = 335,29 \cdot \sin\left(\left(\frac{40,0}{60}\right) + 10\right) = +62,06 \text{ м}$$

.....

$$\Delta x_6 = d_6 \cdot \cos(\alpha_{6-1}) = 132,12 \cdot \cos\left(\left(\frac{50,8}{60}\right) + 291\right) = +49,16 \text{ м}$$

$$\Delta y_6 = d_6 \cdot \sin(\alpha_{6-1}) = 132,12 \cdot \sin\left(\left(\frac{50,8}{60}\right) + 291\right) = -122,63 \text{ м}$$

После определения приращений координат ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ) необходимо вычислить невязки в приращениях координат, линейную и относительную невязки по формулам (12'), (13'), (14), (15):

$$f_x = \sum \Delta x_{\text{выч.}} = +329,50 + 53,13 + \dots + 49,16 = -0,37 \text{ м}$$

$$f_y = \sum \Delta y_{\text{выч.}} = +62,06 + 169,67 + \dots - 122,63 = +0,05 \text{ м}$$

$$f_L = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{0,37^2 + 0,05^2} = 0,37 \text{ м}$$

$$L = 335,29 + 177,79 + \dots + 132,12 = 1254,88 \text{ м}$$

$$\frac{f_L}{L} = \frac{0,37}{1254,88} \approx \frac{1}{3400} < \frac{1}{2000}$$

6. Рассчитывают поправки в приращения координат и вычисляют исправленные приращения.

Так как полученная относительная ошибка меньше допустимой, можно переходить к расчету поправок в приращения координат по формулам (16), (17). Для наглядности расчет поправок проведем в табл. 3.

Таблица 3

Расчет поправок в приращения координат

| № точки  | $\vartheta_x$                                                          | $\vartheta_y$                                                         |
|----------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1        | $\vartheta_{x1} = +\frac{0,37}{1254,88} \cdot 335,29 = +10 \text{ см}$ | $\vartheta_{y1} = -\frac{0,05}{1254,88} \cdot 335,29 = -2 \text{ см}$ |
| 2        | $\vartheta_{x2} = +\frac{0,37}{1254,88} \cdot 177,79 = +5 \text{ см}$  | $\vartheta_{y2} = -\frac{0,05}{1254,88} \cdot 177,79 = -1 \text{ см}$ |
| 3        | $\vartheta_{x3} = +\frac{0,37}{1254,88} \cdot 257,28 = +8 \text{ см}$  | $\vartheta_{y3} = -\frac{0,05}{1254,88} \cdot 257,28 = -1 \text{ см}$ |
| 4        | $\vartheta_{x4} = +\frac{0,37}{1254,88} \cdot 185,82 = +5 \text{ см}$  | $\vartheta_{y4} = -\frac{0,05}{1254,88} \cdot 185,82 = -1 \text{ см}$ |
| 5        | $\vartheta_{x5} = +\frac{0,37}{1254,88} \cdot 166,58 = +5 \text{ см}$  | $\vartheta_{y5} = -\frac{0,05}{1254,88} \cdot 166,58 = 0 \text{ см}$  |
| 6        | $\vartheta_{x6} = +\frac{0,37}{1254,88} \cdot 132,12 = +4 \text{ см}$  | $\vartheta_{y6} = -\frac{0,05}{1254,88} \cdot 132,12 = 0 \text{ см}$  |
| $\Sigma$ | +0,37 м                                                                | -0,05 м                                                               |

Исправленные приращения координат рассчитываются по формулам (20), (21):

$$\Delta x_{\text{испр.1}} = +329,50 + 0,10 = +329,60 \text{ м}$$

$$\Delta y_{\text{испр.1}} = +62,06 - 0,02 = +62,04 \text{ м}$$

.....

$$\Delta x_{\text{испр.6}} = +49,16 + 0,04 = +49,20 \text{ м}$$

$$\Delta y_{\text{испр.6}} = -122,63 + 0 = -122,62 \text{ м}$$

Критерием правильности вычисления исправленных приращений являются их суммы, которые должны быть равны 0:

$$\sum \Delta x_{\text{испр.}} = +329,60 + 53,18 - 220,63 - 167,38 - 43,97 + 49,20 = 0,00$$

$$\sum \Delta y_{\text{испр.}} = +62,04 + 169,66 + 132,20 - 80,61 - 160,66 - 122,63 = 0,00$$

Таблица 4

## Ведомость вычисления координат

| № точек             | Углы            |            |                   |      | Дирек-<br>цион-<br>ные уг-<br>лы |      | Румбы |    |      | Длины ли-<br>ний (гори-<br>зонтальные<br>проложе-<br>ния) | Приращения координат |                                                                                |                |              |              |        |   |        | Координаты |        |   |        |
|---------------------|-----------------|------------|-------------------|------|----------------------------------|------|-------|----|------|-----------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------|---|--------|------------|--------|---|--------|
|                     | изме-<br>ренные |            | исправ-<br>ленные |      |                                  |      |       |    |      |                                                           | вычисленные          |                                                                                |                |              | исправленные |        |   |        |            |        |   |        |
|                     | °               | ′          | °                 | ′    | °                                | ′    | назв. | °  | ′    | м                                                         | ±                    | ΔX                                                                             | ±              | ΔY           | ±            | ΔX     | ± | ΔY     | ±          | X      | ± | Y      |
| 1                   | 2               |            | 3                 |      | 4                                |      | 5     |    |      | 6                                                         | 7                    |                                                                                |                |              | 8            |        |   |        | 9          |        |   |        |
| 1                   | 101             | +3<br>10,5 | 101               | 10,8 | 10                               | 40,0 | СВ:   | 10 | 40,0 | 335,29                                                    | +                    | +10<br>329,50                                                                  | +              | -2<br>62,06  | +            | 329,60 | + | 62,04  | +          | 500,00 | + | 500,00 |
| 2                   | 118             | +3<br>03,2 | 118               | 03,5 | 72                               | 36,5 | СВ:   | 72 | 36,5 | 177,79                                                    | +                    | +5<br>53,13                                                                    | +              | -1<br>169,67 | +            | 53,18  | + | 169,66 | +          | 829,60 | + | 562,04 |
| 3                   | 103             | +3<br>31,5 | 103               | 31,8 |                                  |      |       |    |      |                                                           |                      |                                                                                |                |              |              |        |   |        | +          | 882,78 | + | 731,70 |
| 4                   | 123             | +3<br>22,0 | 123               | 22,3 | 149                              | 04,7 | ЮВ:   | 30 | 55,3 | 257,28                                                    | -                    | +8<br>220,71                                                                   | +              | -1<br>132,21 | -            | 220,63 | + | 132,20 | +          | 662,15 | + | 863,90 |
| 5                   | 131             | +3<br>01,5 | 131               | 01,8 | 205                              | 42,4 | ЮЗ:   | 25 | 42,4 | 185,82                                                    | -                    | +5<br>167,43                                                                   | -              | -1<br>80,60  | -            | 167,38 | - | 80,61  | +          | 494,77 | + | 783,29 |
| 6                   | 142             | +3<br>49,5 | 142               | 49,8 | 254                              | 40,6 | ЮЗ:   | 74 | 06,4 | 166,58                                                    | -                    | +5<br>44,02                                                                    | -              | 0<br>160,66  | -            | 43,97  | - | 160,66 | +          | 450,80 | + | 622,63 |
|                     |                 |            |                   |      | 291                              | 50,8 | СЗ:   | 68 | 09,2 | 132,12                                                    | +                    | +4<br>49,16                                                                    | -              | 0<br>122,63  | +            | 49,20  | - | 122,63 |            |        |   |        |
| 1                   |                 |            |                   |      |                                  |      |       |    |      | L =<br>= 1254,88                                          | f <sub>x</sub>       | = -0,37                                                                        | f <sub>y</sub> | =+0,05       |              | 0,00   |   | 0,00   | +          | 500,00 | + | 500,00 |
| Σβ <sub>изм.</sub>  | 719             | 58,2       | 720               | 00,0 |                                  |      |       |    |      |                                                           |                      | $f_L = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{0,37^2 + 0,05^2} = 0,37 \text{ м}$         |                |              |              |        |   |        |            |        |   |        |
| Σβ <sub>теор.</sub> | 720             | 00,0       |                   |      |                                  |      |       |    |      |                                                           |                      | $\frac{f_L}{L} = \frac{0,37}{1254,88} \approx \frac{1}{3400} < \frac{1}{2000}$ |                |              |              |        |   |        |            |        |   |        |
| f <sub>β</sub>      | -               | 01,8       |                   |      |                                  |      |       |    |      |                                                           |                      |                                                                                |                |              |              |        |   |        |            |        |   |        |
| f <sub>βдоп</sub>   | ±               | 02,4       |                   |      |                                  |      |       |    |      |                                                           |                      |                                                                                |                |              |              |        |   |        |            |        |   |        |

*7. Рассчитывают координаты точек.*

Расчет координат (X, Y) осуществляется по формулам (24), (25).

Координаты точки 1 по условиям заданы:  $X_1 = +500,00$  м;  
 $Y_1 = +500,00$  м.

$$X_2 = X_1 + \Delta x_1 = +500,00 + 329,60 = +829,60 \text{ м}$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta y_1 = +500,00 + 62,04 = +562,04 \text{ м}$$

.....

$$X_6 = X_5 + \Delta x_5 = +494,77 - 43,97 = +450,80 \text{ м}$$

$$Y_6 = Y_5 + \Delta y_5 = +783,29 - 160,66 = +622,63 \text{ м}$$

Контроль расчета координат точек: к последним координатам следует прибавить последние приращения координат, должны получиться координаты первой точки:

$$\begin{aligned} +450,80 + 49,20 &= +500,00 \text{ м} = X_1 \\ +622,63 - 122,63 \text{ м} &= +500,00 \text{ м} = Y_1 \end{aligned}$$

По результатам проверки преподавателем индивидуального задания № 1 студент приступает к выполнению лабораторной работы № 6 «Построение плана теодолитной съемки».

## 2. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2.

### Вертикальная планировка

Для выполнения индивидуального задания № 2 каждый студент должен получить у своего преподавателя вариант отметки точки 1а ( $H_{1a}$ ) и уклоны по осям  $x$  ( $u_x$ ) и  $y$  ( $u_y$ ).

Цель индивидуального задания заключается в расчете журнала нивелирования поверхности и построении на его основе плана нивелирования поверхности; расчете проектной отметки горизонтальной площадки и построении картограммы земляных работ горизонтальной площадки; расчете проектных отметок в наклонной площадке в зависимости от заданных преподавателем уклонов и построении картограммы земляных работ наклонной площадки.

**ВАЖНО!** *Оформлять графические материалы в цвете, студент может только после проверки преподавателем этих материалов в карандаше.*

#### 2.1. Обработка журнала нивелирования поверхности

Исходными данными служат фактическая отметка точки 1а, задаваемая преподавателем, и журнал нивелирования поверхности (табл. 5)

Для получения отметок точек вычисляют горизонт прибора (ГП) в точке 1а по формуле

$$\text{ГП} = H_{1a} + a_{1a}, \quad (26)$$

где  $H_{1a}$  – отметка точки 1а, задаваемая преподавателем;  $a_{1a}$  – отсчет по рейке, стоящей в точке 1а.

В примере (табл. 5)  $\text{ГП} = 135,440 + 1,709 = 137,149$  м

Вычисление отметок остальных вершин квадратов осуществляют путем вычитания из горизонта прибора отсчетов по рейкам, стоящим на вершинах квадратов:

$$H_i = \text{ГП} - c_i, \quad (27)$$

где  $c_i$  – отсчет по рейке на промежуточную точку.

Таблица 5

Журнал нивелирования поверхности

| № стан-ций | № пикетов | Отсчеты по рейке, мм |           |                | Горизонт прибора, м | Фактические отметки, м |
|------------|-----------|----------------------|-----------|----------------|---------------------|------------------------|
|            |           | зад-ние              | перед-ние | промежу-точные |                     |                        |
|            | 1а        |                      |           | 1709           | 137,149             | 135,440                |
|            | 1б        |                      |           | 1651           |                     | 135,498                |
|            | 1в        |                      |           | 1903           |                     | 135,246                |
|            | 1г        |                      |           | 2554           |                     | 134,595                |
|            | 2г        |                      |           | 2152           |                     | 134,997                |
|            | 3г        |                      |           | 2355           |                     | 134,794                |
|            | 4г        |                      |           | 2906           |                     | 134,243                |
|            | 4в        |                      |           | 2707           |                     | 134,442                |
|            | 4б        |                      |           | 2654           |                     | 134,495                |
|            | 4а        |                      |           | 2802           |                     | 134,347                |
|            | 3а        |                      |           | 1881           |                     | 135,268                |
|            | 2а        |                      |           | 1183           |                     | 135,966                |
|            | 2б        |                      |           | 0331           |                     | 136,818                |
|            | 2в        |                      |           | 1188           |                     | 135,961                |
|            | 3в        |                      |           | 1865           |                     | 135,284                |
|            | 3б        |                      |           | 1632           |                     | 135,517                |

Например, отметка точки 1б:

$$H_{1б} = 137,149 - 1,651 = 135,498 \text{ м}$$

Отметка точки 1в:

$$H_{1в} = 137,149 - 1,903 = 135,246 \text{ м}$$

Отметки остальных вершин вычисляются аналогично.

Схема нивелирования поверхности по квадратам приведена на рис. 5.

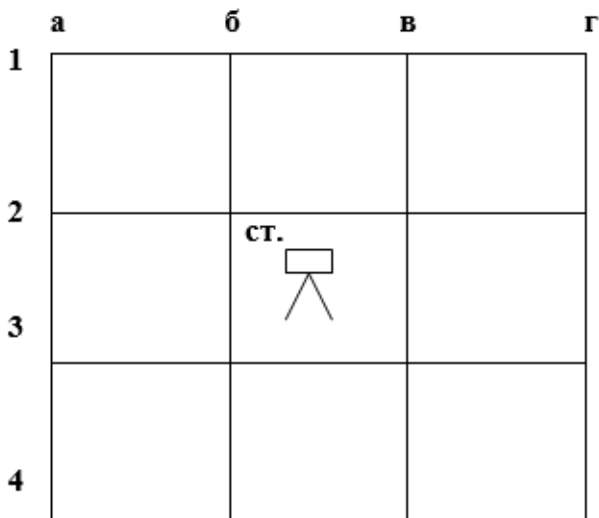


Рис. 5. Схема нивелирования поверхности по квадратам

## 2.2. Построение и оформление плана нивелирования поверхности

На листе чертежной бумаги формата А4 строят сетку квадратов со сторонами 40 м в масштабе 1:500 [3]. В вершинах квадратов вверху справа подписывают их отметки с округлением до сотых долей метра (рис. 7). Сетку квадратов толщиной 0,1 мм оформляют синим цветом, отметки вершин квадратов высотой 5 мм – черным цветом, после чего приступают к графическому интерполированию и проведению горизонталей.

При интерполировании с помощью миллиметровой бумаги проводят на ней две вертикальные линии на расстоянии друг от друга, равном стороне квадрата в масштабе, т.е. 4 см. Затем через каждый сантиметр прочерчивают горизонтальные линии и подписывают их в соответствии с горизонталями, кратными высоте сечения рельефа. Для этого необходимо определить, какие горизонтالي пройдут по сторонам площадки. Зная высоту сечения рельефа, равную 0,5 м, выполняют следующие действия: в приведенном примере наименьшая отметка по сетке квад-

ратов находится в точке 4г (она равна 134,24 м), наибольшая отметка находится в точке 2б (она равна 136,82 м), следовательно, горизонтальные линии на палетке будут иметь подписи 134,0; 134,5; 135,0; 135,5; 136,0; 136,5; 137,0 м (рис. 6).



Рис. 6. Графическое интерполирование горизонталей стороны квадрата с вершинами 2а-2б

Для иллюстрации интерполирования с помощью палетки рассмотрим сторону квадрата 2а-2б. Отметка точки 2а равна 135,96 м, отметка точки 2б равна 136,82 м. По этой стороне квадрата при высоте сечения 0,5 м пройдут следующие горизонталы: 136,0; 136,5 м, расстояния до которых нужно найти. Для этого слева на палетке отмечают меньшую отметку, т.е. 135,96 м, справа отмечают бóльшую отметку 136,82 м. Поскольку горизонтальные линии проведены через 1 см (т.е. 10 мм), соответствующие высоте сечения рельефа 0,5 м, нетрудно посчитать, что каждый миллиметр будет соответствовать высоте 0,05 м. Отметка точки 2а откладывается от горизонтальной линии, подписанной как 135,5 м. Если теперь от отметки точки отнять подписанную на палетке горизонталь и разделить результат на 0,05, т.е.  $(135,96 - 135,5)/0,05 = 9,2 \text{ мм} \approx 9 \text{ мм}$ , то мы получим

расстояние, которое следует отложить от подписанной горизонтали вверх (см. рис. 6). Можно поступить по-другому: если взять не 135,5 м, а 136,0 м и от этого подписанного на палетке числа отнять отметку точки и разделить результат на 0,05, получим расстояние, которое нужно будет отложить от 136,0 м вниз, т.е.  $(136,0 - 135,96)/0,05 = 0,8 \approx 1$  мм.

По аналогии отметим на палетке точку 2б:  $(136,82 - 136,50)/0,05 = 6,4$  мм  $\approx 6$  мм, т.е. от линии 136,5 м нужно отложить вверх 6 мм.

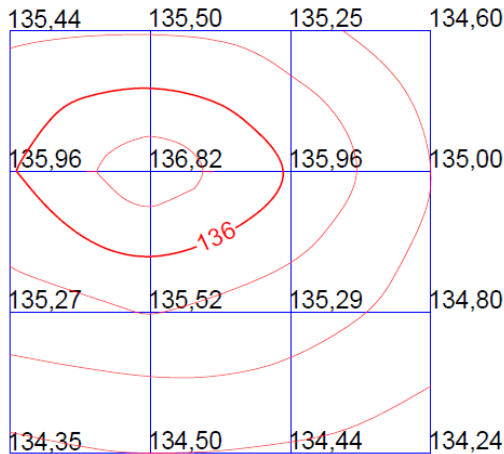
После откладывания двух точек на сторонах палетки карандашом, по линейке их соединяют, при этом наклонная линия пересечет несколько горизонтальных линий (или только одну). Затем палетку прикладывают к стороне квадрата таким образом, чтобы слева на палетке и на стороне квадрата была меньшая отметка, а справа большая. Из точек пересечения наклонной и горизонтальных линий опускают перпендикуляры на сторону квадрата и подписывают каждую из точек отметкой горизонтальной линии. На рис. 6 это 136,0 и 136,5 м.

Интерполирование остальных сторон квадратов проводится аналогично как по горизонтали, так и по вертикали.

После интерполяции по всем сторонам квадратов точки, имеющие одинаковые отметки, соединяют плавными кривыми, тем самым прорисовываются горизонтали на плане.

Отметки горизонталей, кратные 2 м, подписывают на плане в разрывах горизонталей так, чтобы верх цифр был направлен в сторону повышения рельефа. Бергштрихами (короткими штрихами на горизонталях) показывают направление скатов. После этого горизонтали и их подписи вычерчивают красным цветом, при этом горизонтали, отметки которых кратны 2 м, вычерчивают линией толщиной 0,3 мм, остальные горизонтали – более тонкими линиями толщиной 0,15 мм. Сверху располагают надпись «План нивелирования поверхности», снизу – масштаб и высоту сечения рельефа. Высота текста в заголовках и подписях составляет 5 мм (рис. 7).

### План нивелирования поверхности



1:500

Высота сечения рельефа 0,5 м

Рис. 7. Образец оформления плана

### 2.3. Проектирование горизонтальной площадки

Проектирование горизонтальной площадки под условием нулевого баланса земляных работ выполняется по отметкам вершин квадратов. Для выполнения этого задания необходимо взять новый лист формата А4, построить на нем сетку квадратов, как рассказано в п. 2.2. Отметки вершин квадратов следует взять из табл. 5 и записать в табл. 6.

Таблица 6

#### Фактические отметки

| № вершины | Фактическая отметка, м |
|-----------|------------------------|
| 1а        | 135,44                 |
| 1б        | 135,50                 |
| 1в        | 135,25                 |
| 1г        | 134,60                 |

Окончание табл. 6

| № вершины | Фактическая отметка, м |
|-----------|------------------------|
| 2г        | 135,00                 |
| 3г        | 134,80                 |
| 4г        | 134,24                 |
| 4в        | 134,44                 |
| 4б        | 134,50                 |
| 4а        | 134,35                 |
| 3а        | 135,27                 |
| 2а        | 135,96                 |
| 2б        | 136,82                 |
| 2в        | 135,96                 |
| 3в        | 135,29                 |
| 3б        | 135,52                 |

Проектная отметка точки 1а рассчитывается по формуле

$$H_0 = \frac{\sum H_1 + 2 \sum H_2 + 4 \sum H_4}{4 \cdot n}, \quad (28)$$

где  $\sum H_1$  – сумма отметок вершин квадратов, входящих в один квадрат;  $2\sum H_2$  – удвоенная сумма отметок вершин квадратов, входящих в два квадрата;  $4\sum H_4$  – учетверенная сумма отметок вершин квадратов, входящих в четыре квадрата;  $n$  – количество квадратов.

Рассмотрим более подробно каждую из сумм:

$$\begin{aligned} \sum H_1 &= H_{1a} + H_{1г} + H_{4г} + H_{4a} \\ 2\sum H_2 &= 2 \cdot (H_{1б} + H_{1в} + H_{2г} + H_{3г} + H_{4в} + H_{4б} + H_{3а} + H_{2а}) \\ 4\sum H_4 &= 4 \cdot (H_{2б} + H_{2в} + H_{3в} + H_{3б}) \end{aligned}$$

Расчет проектной отметки ( $H_0$ ) следует вести в табл. 7.

Таблица 7

Расчет проектной отметки

| $\sum H_1$ | $2\sum H_2$ | $4\sum H_4$ | $\sum H_1 + 2\sum H_2 + 4\sum H_4$ | $4 \cdot n$ | $H_0, \text{ м}$ |
|------------|-------------|-------------|------------------------------------|-------------|------------------|
| 538,63     | 2161,46     | 2174,36     | 4874,45                            | 36          | 135,40           |

Фактические отметки высотой 5 мм выписывают при соответствующих вершинах квадратов черным цветом (см. рис. 7).

Далее вычисляют рабочие отметки  $\Delta h$  для каждой вершины квадрата по формуле

$$\Delta h_i = H_{\text{факт.}i} - H_{\text{проект.}} \quad (29)$$

где  $H_{\text{факт.}i}$  – фактическая отметка  $i$ -й вершины квадрата;  
 $H_{\text{проект.}}$  – проектная отметка вершины 1а.

**ВАЖНО!** Рабочие отметки вычисляются с точностью до 0,01 м.

Вычисление рабочих отметок по формуле (29) проводят в табл. 8.

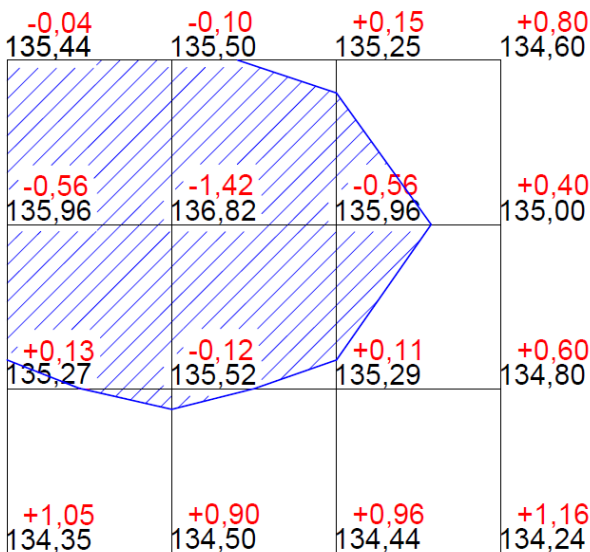
Таблица 8

Вычисление рабочих отметок

| № вершины | Фактическая отметка<br>$H_{\text{факт.}i}$ , м | Проектная<br>отметка<br>$H_{\text{проект.}}$ , м | Рабочая отметка<br>$\Delta h_i$ , м |
|-----------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1а        | 135,44                                         | 135,40                                           | -0,04                               |
| 1б        | 135,50                                         |                                                  | -0,10                               |
| 1в        | 135,25                                         |                                                  | +0,15                               |
| 1г        | 134,60                                         |                                                  | +0,80                               |
| 2г        | 135,00                                         |                                                  | +0,40                               |
| 3г        | 134,80                                         |                                                  | +0,60                               |
| 4г        | 134,24                                         |                                                  | +1,16                               |
| 4в        | 134,44                                         |                                                  | +0,96                               |
| 4б        | 134,50                                         |                                                  | +0,90                               |
| 4а        | 134,35                                         |                                                  | +1,05                               |
| 3а        | 135,27                                         |                                                  | +0,13                               |
| 2а        | 135,96                                         |                                                  | -0,56                               |
| 2б        | 136,82                                         |                                                  | -1,42                               |
| 2в        | 135,96                                         |                                                  | -0,56                               |
| 3в        | 135,29                                         |                                                  | +0,11                               |
| 3б        | 135,52                                         |                                                  | -0,12                               |

Рабочие отметки высотой 5 мм с соответствующими знаками наносят красным цветом над фактическими отметками вершин квадратов (рис. 8).

Картограмма земляных работ  
Горизонтальная площадка



Масштаб 1:500

Сторона квадрата 20 м

Рис. 8. Картограмма земляных работ

На сторонах квадратов, вершины которых имеют рабочие отметки противоположных знаков, находят положение точек нулевых работ, рассчитывая расстояние до них от соответствующих вершин квадратов по формуле

$$X_i = \frac{|\Delta h_1|}{|\Delta h_1| + |\Delta h_2|} \cdot d, \quad (30)$$

где  $\Delta h_1$  – рабочая отметка слева;  $\Delta h_2$  – рабочая отметка справа;  
 $d$  – длина стороны квадрата в метрах.

Например, расстояние  $X_{16}$  от вершины 1б:

$$X_{16} = \frac{|\Delta h_{16}|}{|\Delta h_{16}| + |\Delta h_{1Б}|} \cdot d$$

В рассматриваемом примере

$$X_{16} = \frac{0,10}{0,10 + 0,15} \cdot 20 = 8,0 \text{ м}$$

Полученное расстояние необходимо разделить на 5 м, поскольку масштаб, в котором строится картограмма, 1:500, т.е.  $8/5 = 1,6$  см. Это расстояние откладывают от вершины, рабочая отметка которой стоит в числителе дроби.

Рассмотрим еще один пример. Найдём расстояние  $X_{2в}$  по стороне 2в-2г:

$$X_{2в} = \frac{0,56}{0,56 + 0,40} \cdot 20 = 11,7 \text{ м}$$

$11,7/5 = 2,3$  см необходимо отложить от вершины 2в по стороне 2в-2г.

Так вычисляют все расстояния от вершин квадратов до точек нулевых работ и откладывают их в масштабе плана на соответствующих сторонах квадратов. Точки нулевых работ соединяют прямыми, получают линию нулевых работ. Линия нулевых работ оформляется синим цветом толщиной 0,3 мм (см. рис. 8). Область выемки (т.е. та часть, где находятся рабочие отметки со знаком (-)) заштриховывается линиями толщиной 0,1 мм под углом  $45^\circ$  синим цветом.

## 2.4. Проектирование наклонной площадки

Исходными данными при проектировании наклонной площадки являются фактические отметки вершин квадратов сетки, используемые при проектировании горизонтальной площадки (рис. 9). Уклоны площадки  $u_x$  по линии 1а-4а и  $u_y$  по линии 1а-1г задаются преподавателем. Проектная отметка точка 1а принимается такой же, как и при проектировании горизонтальной площадки. Для выполнения этого задания необходимо взять новый лист формата А4, построить на нем сетку квадратов, как рассказано в п. 2.2. Горизонтالي при этом на данном листе не прорисовываются.



Масштаб 1:500

Сторона квадрата 20 м

Рис. 9. Картограмма земляных работ

Проектные отметки вершин квадратов вычисляются по формуле

$$H_{i+1} = H_{\text{проект.1a}} \pm u_x \cdot d_i \pm u_y \cdot d_i \quad (31)$$

Например, проектная отметка точки 1б:

$$H_{1б} = 135,40 + 0,001 \cdot 0 - 0,001 \cdot 20 = 135,42 \text{ м}$$

Проектная отметка точки 2в:

$$H_{2в} = 135,40 + 0,001 \cdot 20 - 0,001 \cdot 40 = 135,38 \text{ м}$$

Проектные отметки остальных вершин квадратов вычисляют по формуле (31) и записывают в табл. 9.

Таблица 9

Вычисление проектных отметок

| № вершины | $u_x$  | $u_y$  | $\sum u_i \cdot d_i$ | Проектная отметка, м |
|-----------|--------|--------|----------------------|----------------------|
| 1а        | +0,001 | -0,001 | —                    | 135,40               |
| 1б        |        |        | +0,001·0 – 0,001·20  | 135,38               |
| 1в        |        |        | +0,001·0 – 0,001·40  | 135,36               |
| 1г        |        |        | +0,001·0 – 0,001·60  | 135,34               |
| 2г        |        |        | +0,001·20 – 0,001·60 | 135,36               |
| 3г        |        |        |                      | 135,38               |
| 4г        |        |        |                      | 135,40               |
| 4в        |        |        |                      | 135,42               |
| 4б        |        |        |                      | 135,44               |
| 4а        |        |        |                      | 135,46               |
| 3а        |        |        |                      | 135,44               |
| 2а        |        |        |                      | 135,42               |
| 2б        |        |        |                      | 135,40               |
| 2в        |        |        |                      | 135,38               |
| 3в        |        |        |                      | 135,40               |
| 3б        |        |        |                      | 135,42               |

Проектные отметки высотой 5 мм выписывают красным цветом над фактическими отметками у соответствующих вершин квадратов (см. рис. 9). Затем по формуле (29) вычисляют рабочие отметки как разность проектных и фактических отметок и заносят их в табл. 10.

Таблица 10

Вычисление рабочих отметок

| № вершины | Фактическая<br>отметка, м | Проектная<br>отметка, м | Рабочая<br>отметка, м |
|-----------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1а        | 135,44                    | 135,40                  | -0,04                 |
| 1б        | 135,50                    | 135,38                  | -0,12                 |
| 1в        | 135,25                    | 135,36                  | +0,11                 |
| 1г        | 134,60                    | 135,34                  | +0,74                 |
| 2г        | 135,00                    | 135,36                  | +0,36                 |
| 3г        | 134,80                    | 135,38                  | +0,58                 |
| 4г        | 134,24                    | 135,40                  | +1,16                 |
| 4в        | 134,44                    | 135,42                  | +0,98                 |
| 4б        | 134,50                    | 135,44                  | +0,94                 |
| 4а        | 134,35                    | 135,46                  | +1,11                 |
| 3а        | 135,27                    | 135,44                  | +0,17                 |
| 2а        | 135,96                    | 135,42                  | -0,54                 |
| 2б        | 136,82                    | 135,40                  | -1,42                 |
| 2в        | 135,96                    | 135,38                  | -0,58                 |
| 3в        | 135,29                    | 135,40                  | +0,11                 |
| 3б        | 135,52                    | 135,42                  | -0,10                 |

Рабочие отметки высотой 5 мм со своим знаком наносят над проектными отметками красным цветом (см. рис. 9).

Картограмму земляных работ составляют так же, как при проектировании горизонтальной площадки.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кравченко, Ю. А. Геодезия : учебник / Ю. А. Кравченко. – Москва : ИНФРА-М, 2021. – 344 с.
2. Кулешов, Д. А. Инженерная геодезия : учебник / Д. А. Кулешов, Г. Е. Стрельников, Г. Е. Рязанцев. – Москва : Карт-геоцентр-Геодезиздат, 1996. – 304 с.
3. Теодолитные работы : метод. указания по выполнению лабораторной работы № 2 для студентов всех специальностей дневной формы обучения / сост. Г. Г. Астащенко. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2009. – 40 с.

## **СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

4. Геодезический практикум : учеб. пособие / О. В. Солнышкова, А. А. Караваев, Д. Ю. Терентьев [и др.] ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2020. – 148 с.
5. Поклад, Г. Г. Геодезия : учеб. пособие для студентов вузов / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев ; Воронеж. гос. аграр. ун-т им. К. Д. Глинки. – Москва : Академический проект, 2007. – 589 с.

Составители

Дмитрий Олегович Григорьев  
Петр Николаевич Губонин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ  
ЗАДАНИЙ № 1 И № 2**

Методические указания  
для студентов 2-го курса, обучающихся по направлениям  
подготовки 07.03.01 «Архитектура», 07.03.02 «Реконструкция  
и реставрация архитектурного наследия»,  
07.03.04 «Градостроительство», 08.03.01 «Строительство»,  
20.03.02 «Природообустройство и водопользование»  
и специальностям 08.05.01 «Строительство уникальных  
зданий и сооружений», 21.05.01 «Прикладная геодезия»

Корректоры  
А.И. Боева, А.В. Тренина

---

Новосибирский государственный  
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)  
630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113

---