

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный университет  
имени А.А. Ежевского

Агрономический факультет

Кафедра Землеустройства, кадастров и сельскохозяйственной мелиорации

## **ГЕОДЕЗИЯ**

Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине  
для студентов, обучающихся по направлению подготовки  
35.03.11 Гидромелиорация

Иркутск, 2023 г.

Рассмотрено и рекомендовано к изданию методической комиссией агрономического факультета Иркутского ГАУ (протокол №9 от 15 мая 2023 г.)

<b>Авторы:</b>	<b>доцент каф. Землеустройства, кадастров и с.-х. мелиорации Иркутского ГАУ, к.б.н.</b>	<b>Хабалтуев Е.Ю.</b>
	<b>доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Иркутского национального исследовательского технического университета, к.г.-м.н.</b>	<b>Сосновская Е.Л.</b>

<b>Рецензент:</b>	<b>доцент каф. Земледелия и растениеводства Иркутского ГАУ, к.б.н.</b>	<b>Бояркин Е.В.</b>
-------------------	--	---------------------

**Хабалтуев, Е.Ю.** Прикладная геодезия: Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.11 Гидромелиорация / Е.Ю. Хабалтуев, Е.Л. Сосновская. - Иркутск: Иркутский ГАУ, 2023. - 26 с.

© Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, 2023.  
© Кафедра Землеустройства, кадастров и с.-х. мелиорации Иркутского ГАУ, 2023. © Хабалтуев Евгений Юрьевич.  
© Сосновская Елена Леонидовна.

## Лабораторная работа №1

### Определение объема воды в проектируемом водохранилище методом горизонтальных сечений

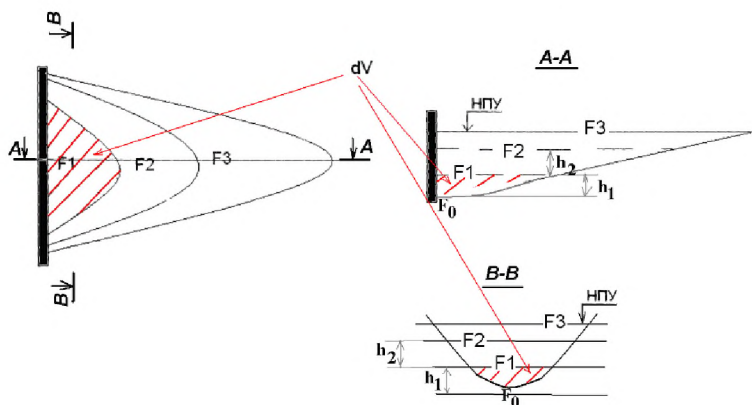


Рисунок 1 – Схема к определению объема воды в проектируемом водохранилище. F1, F2, F3 – горизонтальные сечения водохранилища; НПУ – нормальный подпорный уровень; dV – элементарный объем воды между смежными сечениями  $F_i$  и  $F_{i+1}$

#### Порядок выполнения работы

1. Определяем площади сечений F1, F2, F3... по прилагаемому плану (рис. 2) с учетом масштаба плана. Определяем высотные отметки Н1, Н2, Н3 слоев с учетом известной высоты сечения  $h_i$ . Результаты записываем в таблицу 1.

2. Определяем объем воды в проектируемом водохранилище по способу среднего арифметического. Результаты записываем в таблицу 1.

$$V_{\text{общ}}^1 = \sum dV_i, \text{ где } dV_i = \frac{1}{2} h_i \cdot (F_i + F_{i-1}) \quad h_i = H_i - H_{i-1} = \quad h_1 \approx \frac{1}{2} h_i = \quad F_0 = 0$$

3. Определяем объем воды в проектируемом водохранилище по способу среднего геометрического

$$V_{\text{общ}}^2 = \sum dV_i, \quad \text{где } dV_i = \frac{1}{3} h_i \cdot (F_i + \sqrt{F_i \cdot F_{i-1}} + F_{i-1})$$

Таблица 1 – Определение объема воды в проектируемом водохранилище методом горизонтальных сечений

№ слоя	№ сечения	Исходные данные			Вычисление элементарных объемов	
		Высотная отметка $H_i, \text{м}$	Высота сечения $h_i$	Площадь сечения F	1 способ $dV_i$	2 способ $dV_i$
	0			0		
1	1					
2	2					
3	3					
4	4					
5	5					
6	6					
7	7					
8	8					
9	9					
10	10					
Суммарный объем воды в водохранилище					$V_{\text{общ}}^1 =$	$V_{\text{общ}}^2 =$

С

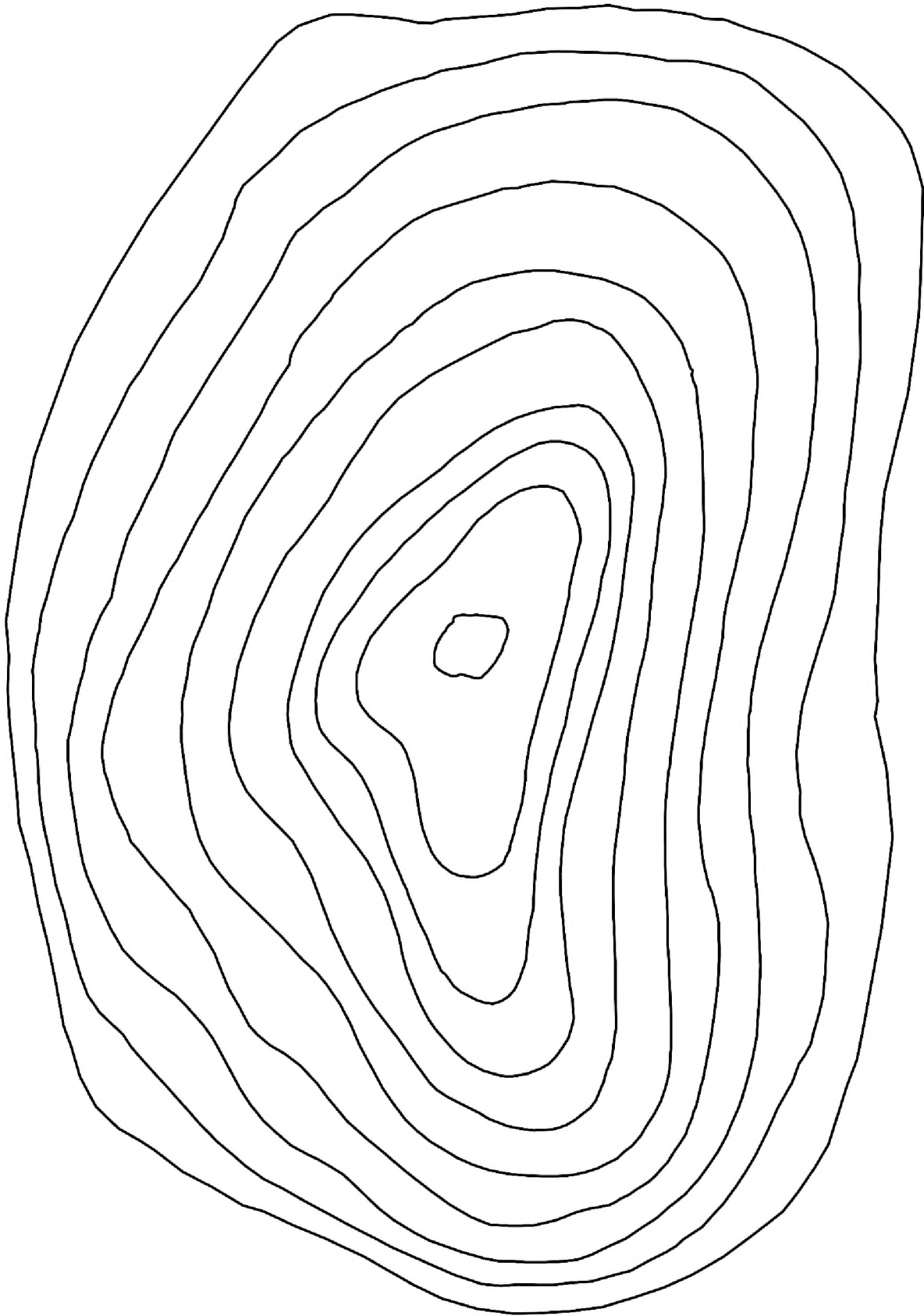


Рисунок 2 – План водохранилища

4. Вычисляем ошибку определения объема воды и проверяем ее на допустимость

$$\Delta V = V_{\text{общ}}^1 - V_{\text{общ}}^2 = \Delta V, \% = \frac{\Delta V}{V_{\text{общ}}} \cdot 100\% = \Delta V_{\text{дон}} = 5\%$$

$$V_{\text{общ}} = \frac{V_{\text{общ}}^1 + V_{\text{общ}}^2}{2} =$$

## Лабораторная работа № 2

### Уравнивание координат пунктов строительной геодезической сетки и вычисление элементов редукции на ее пунктах

#### Порядок выполнения работы

I. Исправляют значения измеренных углов в каждом прямоугольнике в следующем порядке:

1. Вычисляют сумму измеренных углов по каждому прямоугольнику:

$$\sum \beta_{\text{изм}}^{\text{прямоуг}} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4$$

где  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  – измеренные углы в прямоугольниках строительной сетки

2. Вычисляют теоретическую сумму углов в прямоугольнике:

$$\sum_1^4 \beta_{\text{теор}}^{\text{прямоуг}} = 90^\circ \cdot 4 = 360^\circ$$

3. Вычисляют угловую невязку  $f_\beta$  по каждому прямоугольнику

$$f_\beta = \sum_1^4 \beta_{\text{изм}}^{\text{прямоуг}} - \sum_1^4 \beta_{\text{теор}}^{\text{прямоуг}}$$

Результаты записывают в таблицу 2.

Если измеренная невязка  $f_{\beta_{\text{изм}}}$  не превышает допустимой  $f_{\beta_{\text{дон}}} = \pm 30'' \sqrt{n}$ , то вычисления продолжают. В противном случае необходимо повторить полевые измерения.

4. Угловую невязку в каждом прямоугольнике распределяют по измеренным углам поровну с обратным знаком:

$$\delta_\beta = -\frac{f_\beta}{n}, \text{ при этом должно соблюдаться условие } \sum_1^4 \delta_\beta = -f_\beta$$

5. Вычисляют исправленные углы:

$$\beta_{\text{испр}_i} = \beta_{\text{изм}_i} + \delta_\beta$$

Контролем правильности вычислений является равенство:

$$\sum \beta_{\text{испр}} = \sum \beta_{\text{теор}}$$

II. Вычисляют координаты пунктов строительной сетки по каркасному ходу в следующем порядке:

1. В ведомости вычисления вершин каркасного хода (табл. 3) записывают вершины каркасного хода по ходу часовой стрелки, начиная с вершины А1.

2. Во второй колонке ведомости записывают значения исправленных углов по каркасному ходу в вершинах А1, А3, В3, В1.

3. Вычисляют и записывают значения исправленных углов по каркасному ходу во второй колонке ведомости в вершинах А2, Б3, В2, Б1, равные суммам двух смежных исправленных углов прямоугольников строительной сетки для каждой вершины

4. Вычисляют сумму исправленных углов  $\Sigma \beta_{испр}$

$$\Sigma \beta_{испр} = \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n;$$

5. Вычисляют теоретическую сумму углов  $\Sigma \beta_{теор}$

$$\sum_1^{12} \beta_{теор} = 90^\circ \cdot 12 = 1080^\circ$$

где 12 – количество прямых углов по каркасному ходу.

6. Вычисляют угловую невязку  $f_\beta$

$$f_\beta = \Sigma \beta_{испр} - \Sigma \beta_{теор}$$

Если измеренная невязка  $f_{визм}$  не превышает допустимой  $f_{\beta_{дон}} = \pm 30'' \sqrt{n}$ , то вычисления продолжают. В противном случае повторяют полевые измерения.

7. Угловую невязку распределяют по измеренным углам поровну с обратным знаком

$$\delta_\beta = -\frac{f_\beta}{n}$$

Контроль:  $\Sigma \delta_\beta = -f_{визм}$

8. Вычисляют уравненные углы:

$$\beta_{ур_i} = \beta_{испр_i} + \delta_{\beta_i}$$

Контролем правильности вычислений является равенство:

$$\Sigma \beta_{ур} = \Sigma \beta_{теор}$$

9. Вычисляют дирекционные углы. Дирекционный – угол первой стороны А1-А2 равен уравненному углу  $\beta_{А1}$  при вершине А1.

$$\alpha_{А1-А2} = \beta_{ур \text{ А1}}$$

Далее вычисляют дирекционные углы остальных сторон по формулам:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \beta_{лев} - 180^\circ \text{ (левые углы)}$$

где  $\alpha_i$  – дирекционный угол определяемой стороны;

$\alpha_{i-1}$  – дирекционный угол предыдущей стороны;

$\beta_{лев}$  – левый уравненный угол между этими сторонами.

Контролем правильности вычисления дирекционных углов сторон полигона является повторное получение дирекционного угла начальной стороны  $\alpha_{А1-А2}$ .

10. Вычисляют приращения координат

$$\Delta x_i = d_i \cdot \cos \alpha_i$$

$$\Delta y_i = d_i \cdot \sin \alpha_i$$

11. Вычисляют суммы приращений координат  $\Sigma \Delta x$  и  $\Sigma \Delta y$

Поскольку полигон замкнутый, то теоретическая сумма приращений координат должна быть равна нулю, т.е.  $\Sigma \Delta x_{теор} = 0$ ;  $\Sigma \Delta y_{теор} = 0$ . Однако на практике вследствие погрешностей угловых и линейных измерений суммы приращений координат равны не нулю, а некоторым величинам  $f_x$  и  $f_y$ , которые называются невязками в приращениях координат  $f_x = \Sigma \Delta x$ ;  $f_y = \Sigma \Delta y$ .

В результате этих невязок полигон окажется разомкнутым на величину абсолютной линейной невязки:

$$f_{абс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

Оценивают точность угловых и линейных измерений по величине относительной линейной невязки:

$$f_{\text{отн}} = \frac{1}{P : f_{\text{абс}}}$$

где  $P = \sum d_i$  – периметр хода, м

Вычисленная относительная невязка сравнивается с допустимой

$$f_{\text{отн}} \leq f_{\text{доп}}$$

$f_{\text{доп}}$  – допустимая относительная невязка устанавливается инструкциями и составляет 1:2000 – 1:1000 в зависимости от требуемой строительной сетки.

Если условие не соблюдается, то тщательно проверяют все предыдущие записи и вычисления. Если при этом ошибка не обнаружена, следует выполнять контрольные измерения длин сторон.

12. Выполняют уравнивание приращений координат, т.е. распределяют невязки по вычисленным приращениям координат пропорционально длинам сторон с обратным знаком. При этом поправки в приращения координат определяются по формулам:

$$\delta_{\Delta x_i} = -\frac{f_x}{P} d_i \quad \delta_{\Delta y_i} = -\frac{f_y}{P} d_i$$

При этом контроль вычислений:  $\sum \delta_x = -f_x$  и  $\sum \delta_y = -f_y$

13. Вычисляют исправленные приращения координат:

$$\Delta x_{i \text{ испр}} = x_i + \delta_{\Delta x_i},$$

$$\Delta y_{i \text{ испр}} = y_i + \delta_{\Delta y_i}$$

14. Вычисляют суммы исправленных приращений координат, которые должны быть равны нулю:

$$\sum \Delta x_{i \text{ испр}} = 0,$$

$$\sum \Delta y_{i \text{ испр}} = 0$$

15. По исправленным приращениям координат и координатам начальной точки последовательно вычисляют координаты вершин теодолитного хода:

$$X_{i+1} = X_i + \Delta x_{\text{испр}}$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta y_{\text{испр}},$$

где  $X_{i+1}$  и  $Y_{i+1}$  – координаты определяемых точек;

$X_i$  и  $Y_i$  – известные координаты предыдущей точки;

$\Delta x$  и  $\Delta y$  – приращения координат между этими точками.

Координаты первой точки каркасного хода  $X_{A1}=0$   $Y_{A1}=0$ .

16. Окончательным контролем правильности вычислений координат служит получение координат начальной точки теодолитного хода  $X_{A1}=0$   $Y_{A1}=0$  в последней строчке двух последних колонок ведомости.

III. Определяют координаты пункта строительной сетки Б2 с помощью диагонального хода между двумя жесткими сторонами, пройденного по точкам строительной сетки В1 Б1 Б2 Б3 В3, где В1-Б1 и Б3-В3 жесткие, предварительно уравненные, стороны.

1. В ведомости вычисления вершин диагонального хода (табл. 4) записывают вершины диагонального хода по ходу часовой стрелки, начиная с вершины В1.

2. Во второй колонке ведомости записывают значения исправленных углов по диагональному ходу в вершинах Б1, Б3.

3. Вычисляют и записывают значения исправленного угла по диагональному ходу во второй колонке ведомости в вершине Б2, равного сумме двух смежных исправленных углов прямоугольников строительной сетки.

4. Вычисляют сумму исправленных углов  $\sum \beta_{\text{испр}}$ :

$$\sum \beta_{испр} = \beta_{B1} + \beta_{B2} + \beta_{B3}$$

5. Вычисляют угловую невязку  $f_{\beta}$

$$f_{\beta} = \alpha_{B1-B1} + \sum \beta_{испр} - 3 \cdot 180^{\circ} - \alpha_{B3-B3} =$$

где  $\alpha_{B1-B1}$ ,  $\alpha_{B3-B3}$  – дирекционные углы сторон B1-B1 и B3-B3 соответственно  
Значения дирекционных углов сторон B1-B1 и B3-B3 определены из таблицы 3.

Если измеренная невязка  $f_{\beta_{изм}}$  не превышает допустимой  $f_{\beta_{дон}} = \pm 30'' \sqrt{n}$ , то вычисления продолжают.

6. Угловую невязку распределяют по измеренным углам поровну с обратным знаком

$$\delta_{\beta} = -\frac{f_{\beta}}{n}$$

Контроль:  $\sum \delta_{\beta} = -f_{\beta_{изм}}$

7. Вычисляют уравненные углы

$$\beta_{ур_i} = \beta_{испр_i} + \delta_{\beta_i}$$

Контролем правильности вычислений является равенство

$$\sum \beta_{ур} = \sum \beta_{теор}$$

8. Вычисляют дирекционные углы. Дирекционный угол первой стороны A1-A2 равен уравненному углу  $\beta_{A1}$  при вершине A1.

$$\alpha_{A1-A2} = \beta_{ур\ A1}$$

Далее вычисляют дирекционные углы остальных сторон по формулам

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \beta_{лев} - 180^{\circ} \text{ (левые углы)}$$

где  $\alpha_i$  – дирекционный угол определяемой стороны;

$\alpha_{i-1}$  – дирекционный угол предыдущей стороны;

$\beta_{лев}$  – левый уравненный угол между этими сторонами.

Контролем правильности вычисления дирекционных углов сторон полигона является повторное получение дирекционного угла начальной стороны  $\alpha_{A1-A2}$ .

9. Вычисляют приращения координат

$$\Delta x_i = d_i \cdot \cos \alpha_i$$

$$\Delta y_i = d_i \cdot \sin \alpha_i$$

10. Вычисляют суммы приращений координат  $\sum \Delta x_{ф}$  и  $\sum \Delta y_{ф}$

11. Поскольку диагональный ход между двумя жесткими сторонами, то теоретическая сумма приращений координат равна:

$$\sum \Delta x_{теор} = X_{кон} - X_{нач} = X_{B3} - X_{B1}$$

$$\sum \Delta y_{теор} = Y_{кон} - Y_{нач} = Y_{B3} - Y_{B1}$$

Координаты точек B1 и B3 определены из таблицы 3.

12. Вычисляют невязки в приращениях координат

$$f_x = \sum \Delta x_{ф} - \sum \Delta x_{теор}$$

$$f_y = \sum \Delta y_{ф} - \sum \Delta y_{теор}$$



13. Вычисляют величину абсолютной линейной невязки:

$$f_{абс} = \sqrt{fx^2 + fy^2}$$

Оценивают точность угловых и линейных измерений по величине относительной линейной невязки:

$$f_{отн} = \frac{1}{P : f_{абс}}$$

где  $P = \sum d_i$  – периметр хода, м

Вычисленная относительная невязка сравнивается с допустимой

$$f_{отн} \leq f_{доп}$$

$f_{доп}$  – допустимая относительная невязка устанавливается инструкциями и составляет 1:2000 – 1:1000 в зависимости от требуемой точности строительной сетки.

Если условие не соблюдается, то тщательно проверяют все предыдущие записи и вычисления. Если при этом ошибка не обнаружена, следует выполнять контрольные измерения длин сторон.

14. Выполняют уравнивание приращений координат, т.е. распределяют невязки по вычисленным приращениям координат пропорционально длинам сторон с обратным знаком. При этом поправки в приращения координат определяются по формулам:

$$\delta_{\Delta xi} = -\frac{f_x}{P} d_i \quad \delta_{\Delta yi} = -\frac{f_y}{P} d_i$$

При этом контроль вычислений:  $\sum \delta_x = -f_x$  и  $\sum \delta_y = -f_y$

15. Вычисляют исправленные приращения координат:

$$\Delta x_{i \text{ испр}} = x_i + \delta_{\Delta xi},$$

$$\Delta y_{i \text{ испр}} = y_i + \delta_{\Delta yi}$$

16 Вычисляют суммы исправленных приращений координат, которые должны быть равны:

$$\sum \Delta x_{i \text{ испр}} = \sum \Delta x_{\text{теор}},$$

$$\sum \Delta y_{i \text{ испр}} = \sum \Delta y_{\text{теор}}$$

17. По исправленным приращениям координат и координатам начальной точки последовательно вычисляют координаты вершин теодолитного хода:

$$X_{i+1} = X_i + \Delta x_{\text{испр}}$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta y_{\text{испр}},$$

где  $X_{i+1}$  и  $Y_{i+1}$  – координаты определяемых точек;

$X_i$  и  $Y_i$  – известные координаты предыдущей точки;

$\Delta x$  и  $\Delta y$  – приращения координат между этими точками.

Координаты первой точки диагонального хода  $X_{Б1}$ ,  $Y_{Б1}$  переписываются из табл.2.

18. Окончательным контролем правильности вычислений координат служит получение координат конечной точки диагонального хода  $X_{БЗ}$ ,  $Y_{БЗ}$  в последней строчке двух последних колонок ведомости.

IV. Вычисляют элементы редукции пунктов строительной сетки (табл. 5) по формулам:

$$r_x = X_{пр} - X_{ф}$$

$$r_y = Y_{пр} - Y_{ф}$$

где  $r_x$ ,  $r_y$  – элементы редукции пунктов строительной сетки по осям X и Y соответственно;

$X_{пр}$ ,  $Y_{пр}$  – проектные значения координат пунктов строительной сетки в условной системе координат (см. табл.3);

$X_{ф}$ ,  $Y_{ф}$  – фактические значения координат пунктов строительной сетки, определенные по табл.1,2.

V. Вычерчивают схему строительной сетки в масштабе 1:2000.

Таблица 2 – Исправление значений измеренных углов по прямоугольникам

1-й прямоугольник

	$\beta_{изм}^{прямоуг}$	$\beta_{изм}^{прямоуг} - 90^\circ$	$\delta_\beta = -\frac{f_\beta}{n}$	$\beta_{испр} = \beta_{изм} + \delta_\beta$	$\beta_{испр} - 90^\circ$
$\beta_1$					
$\beta_2$					
$\beta_3$					
$\beta_4$					
$\Sigma$		$f_\beta =$			

2-й прямоугольник

	$\beta_{изм}^{прямоуг}$	$\beta_{изм}^{прямоуг} - 90^\circ$	$\delta_\beta = -\frac{f_\beta}{n}$	$\beta_{испр} = \beta_{изм} + \delta_\beta$	$\beta_{испр} - 90^\circ$
$\beta_1$					
$\beta_2$					
$\beta_3$					
$\beta_4$					
$\Sigma$		$f_\beta =$			

3-й прямоугольник

	$\beta_{изм}^{прямоуг}$	$\beta_{изм}^{прямоуг} - 90^\circ$	$\delta_\beta = -\frac{f_\beta}{n}$	$\beta_{испр} = \beta_{изм} + \delta_\beta$	$\beta_{испр} - 90^\circ$
$\beta_1$					
$\beta_2$					
$\beta_3$					
$\beta_4$					
$\Sigma$		$f_\beta =$			

4-й прямоугольник

	$\beta_{изм}^{прямоуг}$	$\beta_{изм}^{прямоуг} - 90^\circ$	$\delta_\beta = -\frac{f_\beta}{n}$	$\beta_{испр} = \beta_{изм} + \delta_\beta$	$\beta_{испр} - 90^\circ$
$\beta_1$					
$\beta_2$					
$\beta_3$					
$\beta_4$					
$\Sigma$		$f_\beta =$			

Таблица 3 – Вычисление координат пунктов строительной сетки по каркасному ходу

№	Исправленный угол $\beta_{испр}$	Уравненный угол $\beta_{ур.}$	Дирекци- онный угол $\alpha$	Горизонтальное проложение d, м	Приращения координат, м		Уравненные прираще- ние координат, м		Координаты	
					dX= dcos $\alpha$	dY= dsin $\alpha$	dX	dY	X, м	Y, м
A1									0	0
A2										
A3										
Б3										
В3										
В2										
В1										
Б1										
А1										
$\Sigma$										

$$\Sigma \beta_{теор} = 90^\circ \cdot 12 = 1080^\circ$$

$$f_\beta = \Sigma \beta_{испр} - \Sigma \beta_{теор} =$$

$$f_{\beta доп} = 30'' \sqrt{n} =$$

$$f_{\Delta x} = \Sigma \Delta x =$$

$$f_{\Delta y} = \Sigma \Delta y =$$

$$f_{абс} = \sqrt{f_{\Delta x}^2 + f_{\Delta y}^2} =$$

$$f_{отн} = \frac{1}{P / f_{абс}} =$$

Таблица 4 – Вычисление фактических координат пункта Б2 с помощью диагонального хода

№	Исправленный угол $\beta_{испр}$	Уравненный угол $\beta_{ур}$	Дирекционный угол $\alpha$	Горизонтальное проложение $d$ , м	Приращения координат, м		Уравненные приращения координат, м		Координаты	
					$dX = d \cos \alpha$	$dY = d \sin \alpha$	$dX$	$dY$	X, м	Y, м
В1										
Б1										
Б2										
Б3										
В3										
$\Sigma$										

$$\Sigma \beta_{теор} = 90^\circ \cdot 4 = 360^\circ$$

$$f_{\beta} = \Sigma \beta_{испр} - \Sigma \beta_{теор} =$$

$$f_{\beta доп} = 1' \sqrt{n} =$$

$$f_{отн} = \frac{1}{P / f_{абс}} =$$

$$f_{\Delta x} = \Sigma \Delta x - (X_{Б3} - X_{Б1}) =$$

$$f_{\Delta y} = \Sigma \Delta y - (Y_{Б3} - Y_{Б1}) =$$

$$f_{абс} = \sqrt{f_{\Delta x}^2 + f_{\Delta y}^2} =$$

Таблица 5 – Вычисление элементов редукции на пунктах строительной сетки

№ пунктов	Проектные координаты		Фактические координаты		Элементы редукции	
	$X_{пр}$ , м	$Y_{пр}$ , м	$X_{ф}$ , м	$Y_{ф}$ , м	$r_x = X_{пр} - X_{ф}$ , м	$r_y = Y_{пр} - Y_{ф}$ , м
А1	0,0	0,0				
А2	0,0	200,0				
А3	0,0	400,0				
Б3	150,0	400,0				
В3	300,0	400,0				
В2	300,0	200,0				
В1	300,0	0,0				
Б1	150,0	0,0				
Б2	150,0	200,0				

### Лабораторная работа №3

**Задание 1.** Расчёт разбивочных элементов и оценка точности при выносе проектного положения точек на местность полярным способом

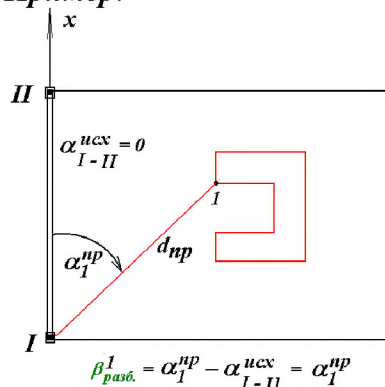
Дано: проектные координаты  $x, y$  углов здания и координаты строительной сетки.

Требуется:

1. Вычислить разбивочные элементы ( $\beta_i$  и  $d_i$ ) для выноса углов здания в натуру полярным способом минимум от двух сторон. Составить самостоятельно схему разбивочных работ для второго варианта.

2. Выполнить расчет точности выноса каждого угла здания в натуру.

**Пример:**



1.1. В масштабе 1: 2000 вычерчивается схема строительной сетки. На схему по проектным координатам наносятся углы выносимого здания. Проектные координаты углов здания заносятся в таблицу 7.

1.2. Выбирается исходная сторона для выноса углов здания в натуру полярным способом, результат заносится в таблицу 7, координаты первой точки исходной стороны также заносится в таблицу 7, определяется румб исходной стороны по общеизвестной формуле:

$$r_{исх} = \arctg \frac{Y_{кон} - Y_{нач}}{X_{кон} - X_{нач}}$$

По таблице 6 определяется дирекционный угол  $\alpha_{исх}$  исходной стороны. Результат заносится в таблицу 7.

Таблица 6 – Связь между дирекционными углами и румбами

Приращения координат	Дирекционный угол			
	$\alpha = r$	$\alpha = 180^\circ - r$	$\alpha = 180^\circ + r$	$\alpha = 360^\circ - r$
$\Delta y$	+	+	-	-
$\Delta x$	+	-	-	+

Приращения координат	Дирекционный угол			
	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 180^\circ$	$\alpha = 270^\circ$
$\Delta y$	0	+	0	-
$\Delta x$	+	0	-	0

1.3. Определяются проектные расстояния по формуле:

$$d_i = \sqrt{(X_{np} - X_{исх})^2 + (Y_{np} - Y_{исх})^2}$$

Результаты заносятся в таблицу 7.

1.4. Определяются дирекционные углы  $\alpha_{np}$  на выносимую точку по формуле:

$$r_i^{np} = \arctg \frac{Y_{np} - Y_{исх}}{X_{np} - X_{исх}} \text{ и в соответствии с таблицей 6.}$$

Результаты заносятся в таблицу 7.

1.5. Разбивочные углы определяются по формуле

$$\beta_{разб}^{лев} = \alpha_{np} - \alpha_{исх}; \beta_{разб}^{пр} = \alpha_{исх} - \alpha_{np}$$

Результаты заносятся в таблицу 7.

2. Оценка точности разбивочных работ производится по формулам:

- Ошибка построения расстояния,  $m_s = \frac{1}{5000} \cdot d_{np} \cdot \rho \cdot 1000 \text{ мм} / \text{м}$
- Ошибка построения проектного угла на местности  $m_{yz} = \frac{m_\beta \cdot d_{np}}{\rho} \cdot 1000 \text{ мм} / \text{м}$ ,

где  $m_\beta = 10''$ ,  $\rho = 206265''$

- Ошибка за центрировку прибора и редукцию визирной оси

$$m_{ц.р.} = m_e \sqrt{1 + \left(\frac{d_{np}}{b}\right)^2 - \left(\frac{d_{np}}{b}\right) \cos \beta}$$

где  $m_e = 2 \text{ мм}$  – среднеквадратическая ошибка оптического центрирования;

$b$  – длина исходной стороны, определяется по известной формуле

$$b = \sqrt{(X_{кон} - X_{нач})^2 + (Y_{кон} - Y_{нач})^2} \text{ или по схеме строительной сетки.}$$

**Примечание:** углы принимаются с точностью до градуса, а  $d_{пр}$  – в метрах

- Ошибка фиксирования точки на местности  $m_{фикс} = 2 \text{ мм}$
- Ошибка положения исходной точки строительной сетки на местности  $m_{исх} = 20 \text{ мм}$
- Общая среднеквадратическая ошибка выноса угла здания в натуру

$$m_{общ} = \sqrt{m_s^2 + m_{yz}^2 + m_{ц.р.}^2 + m_{фикс}^2 + m_{исх}^2}$$

Результаты вычислений заносятся в таблицу 8.

**Задание 2.** Расчёт разбивочных элементов и оценка точности при выносе проектного положения точек на местность способом угловой засечки.

Дано: проектные координаты точек и координаты исходных пунктов.

Требуется:

1. Вычислить разбивочные элементы для выноса углов здания в натуру способом угловой засечки минимум от двух сторон. Составить самостоятельно схему разбивочных работ для второго варианта.

2. Выполнить предрасчёт точности выноса углов здания в натуру.

1.1. Выбирается исходная сторона I-II для выноса углов здания в натуру способом угловой засечки, координаты вершин исходной стороны заносятся в табл.4. Определяется дирекционный угол исходной стороны в прямом  $\alpha_{I-II}$  и обратном  $\alpha_{II-I}$  направлениях.

Таблица 7 – Расчет разбивочных элементов для полярного способа

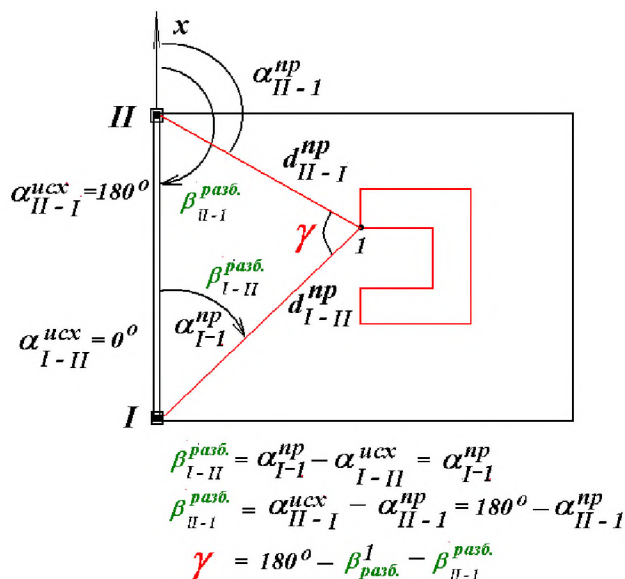
Исходные пункты	Координаты исходных пунктов, м		№ выносимых точек	Координаты выносимых пунктов, м		$X_{пр}-X_{исх}$	$Y_{пр}-Y_{исх}$	$r_{пр}$	Дирекционный угол на выносимую точку $\alpha_{пр}$	Проектное расстояние $d_{пр}$ , м	Разбивочный угол $\beta_i$
	$X_{исх}$	$Y_{исх}$		$X_{пр}$	$Y_{пр}$						
			1								
			2								
			3								
			4								
Исходная сторона $b$ _____			Дирекционный угол исходной стороны $\alpha_{исх}$ _____								
$\beta_{разб} =$											
			5								
			6								
			7								
			8								
Исходная сторона $b$ _____			Дирекционный угол исходной стороны $\alpha_{исх}$ _____								
$\beta_{разб} =$											

Таблица 8 – Оценка точности разбивочных работ при выносе проектного положения точек полярным способом

Номер выносимой точки	$m_s$ , мм	$m_{уг.}$ , мм	$m_{ц.р.}$ , мм	$m_{фикс.}$ , мм	$m_{исх.}$ , мм	$m_{общ.}$ , мм
Длина базиса (исходной стороны) $b =$						
1				2	20	
2				2	20	
3				2	20	
4				2	20	
Длина базиса (исходной стороны) $b =$						
5				2	20	
6				2	20	
7				2	20	
8				2	20	

Составляется схема разбивочных работ.

**Пример:**



1.2. Определяются проектные расстояния по формуле:

$$d_i = \sqrt{(X_{npi} - X_{ucx})^2 + (Y_{npi} - Y_{ucx})^2}$$

Результаты заносятся в таблицу 4.

1.4. Определяются дирекционные углы  $\alpha_{np}$  с обеих исходных вершин на выносимую точку по формулам

$$r_i^{np} = \arctg \frac{Y_{npi} - Y_{ucx}}{X_{npi} - X_{ucx}} \text{ и в соответствии с таблицей 6.}$$

Результаты заносятся в таблицу 9.

1.5. Разбивочные углы определяются в соответствии со схемой разбивочных работ по формуле

$$\beta_{разб.} = \pm(\alpha_{np} - \alpha_{ucx})$$

Результаты заносятся в таблицу 9.

Контроль вычислений:  $\gamma = 180^\circ - (\beta^{I-1}_{разб.} + \beta^{II-1}_{разб.})$  - положительное число, заносится в таблицу 9.

2. Оценка точности разбивочных работ производится по формулам:

- Ошибка построения проектного угла на местности

$$m_{ye} = \frac{m_\beta \cdot \sqrt{d_{npI-1}^2 + d_{npII-2}^2}}{\rho \cdot \sin \gamma} \cdot 1000 \text{ мм/м, где } m_\beta = 10'', \rho = 206265''$$

- Ошибка за центрировку прибора и редукцию визирной оси

$$m_{ч.р.} = \frac{m_e \sqrt{d_{npI-1}^2 + d_{npII-2}^2}}{b}$$

где  $m_e = 2 \text{ мм}$  - среднеквадратическая ошибка оптического центрирования;  $b$  - длина исходной стороны (базиса), определяется по известной формуле или по схеме строительной сетки.

- Ошибка фиксирования точки на местности  $m_{фикс} = 2 \text{ мм}$
- Ошибка положения исходной точки строительной сетки на местности  $m_{исх} = 20 \text{ мм}$
- Общая среднеквадратическая ошибка выноса угла здания в натуру

$$m_{общ} = \sqrt{m_{ye}^2 + m_{ч.р.}^2 + m_{фикс}^2 + m_{исх}^2}$$



Результаты вычислений заносятся в таблицу 10.

Таблица 10 – Оценка точности разбивочных работ при выносе проектного положения точек способом угловой засечки

Номер угла здания	$m_{уг.}, мм$	$m_{ц.р.}, мм$	$m_{фикс.}, мм$	$m_{исх.}, мм$	$m_{общ.}, мм$
Длина базиса (исходной стороны) $b =$					
1					
2					
3					
4					
Длина базиса (исходной стороны) $b =$					
5					
6					
7					
8					

#### Лабораторная работа №4

#### Перевычисление координат пунктов строительной сетки из условной в местную систему координат

Дано: исходные координаты двух пунктов строительной сетки, определённые в местной системе координат.

№ варианта	Название пункта	Условный номер пункта	Координаты в условной системе координат		Координаты в местной системе координат	
			X, М	Y, м	x', м	Y', м
	A1	1	0	0		
		2				

Требуется:

1. Найти угол разворота осей  $x'$  и  $y'$  местной системы координат относительно осей  $x$  и  $y$  условной системы координат.

2. Определить масштабный множитель -  $\mu$ .

3. Вычислить координаты пунктов строительной геодезической сетки в местной системе.

1.1. Вычисляется румб стороны  $r'_{1-2}$  в местной системе координат по формуле:

$$r'_{1-2} = \arctg \frac{Y'_2 - Y'_1}{X'_2 - X'_1} \quad (1)$$

1.2. По таблице 11 определяется дирекционный угол  $\alpha'$  стороны 1-2 в местной системе координат

Таблица 11 – Связь между дирекционными углами и румбами

Приращения координат	Дирекционный угол			
	$\alpha = r$	$\alpha = 180^\circ - r$	$\alpha = 180^\circ + r$	$\alpha = 360^\circ - r$
$\Delta x$	+	-	-	+
$\Delta y$	+	+	-	-

1.3. Вычисляется румб стороны 1-2 в условной системе координат по формуле:

$$r_{1-2} = \text{arctg} \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

1.4. По таблице 11 определяется дирекционный угол  $\alpha$  стороны 1-2 в условной системе координат

1.5. Угол разворота осей  $\gamma$  определится из выражения

$$\gamma = \alpha' - \alpha$$

2.1. Определяется горизонтальное проложение в местной  $d'_{1-2}$  и условной  $d_{1-2}$  системе координат по формулам:

$$d'_{1-2} = \sqrt{(X'_2 - X'_1)^2 + (Y'_2 - Y'_1)^2}$$

$$d_{1-2} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$$

2.2. Масштабный множитель определится по формуле:

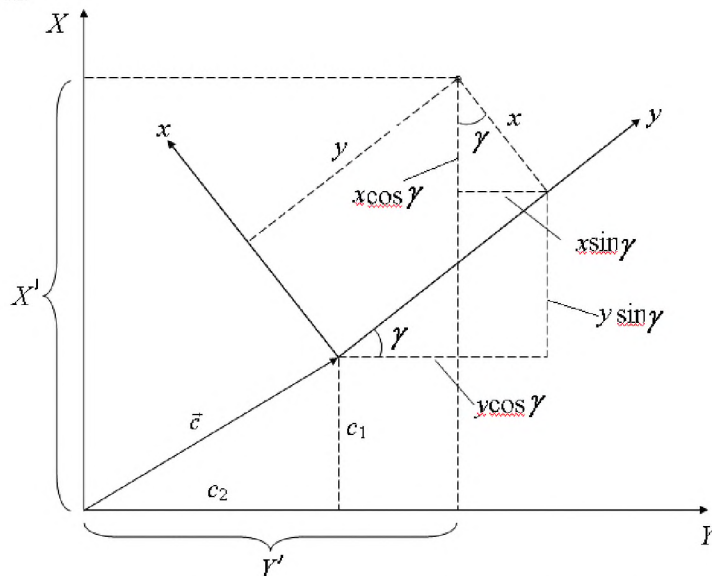
$$\mu = \frac{d'}{d}$$

3. Перевод координат из условной в местную систему координат можно осуществить по формулам согласно схемы (рис. 3):

$$X' = c_1 + \mu x \cos \gamma + \mu y \sin \gamma,$$

$$Y' = c_2 + \mu y \cos \gamma - \mu x \sin \gamma$$

где  $c_1 = X'_{A1}$ ,  $c_2 = Y'_{A1}$



$X', Y'$  – прямоугольные координаты точки в местной системе координат;  $x, y$  – прямоугольные координаты точки в условной системе координат;  $\alpha$  – угол разворота между осями местной и условной системами координат;  $c_1, c_2$  – смещение начала координат местной относительно условной системы координат по оси X и по оси Y соответственно.

Рисунок 3 – Схема перерасчета координат из условной в местную систему

Результаты вычислений заносятся в таблицу 12.

Таблица 12 – Ведомость перевычисления координат из условной в местную систему координат

Название пункта	Условные координаты пункта		$\mu x \cos \gamma$	$\mu y \sin \gamma$	$\mu y \cos \gamma$	$\mu x \sin \gamma$	Местные координаты пункта		Контроль	
	X	Y					X'	Y'	d	d'
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
A1	0,0	0,0							200	
A2	0,0	200,0							200	
A3	0,0	400,0							150	
Б3	150,0	400,0							150	
В3	300,0	400,0							200	
В2	300,0	200,0							200	
В1	300,0	0,0							150	
Б1	150,0	0,0							200	
Б2	150,0	200,0								

$$\mu \cos \gamma =$$

$$\mu \sin \gamma =$$

$$C_1 =$$

$$C_2 =$$

$$X' = c_1 + \mu x \cos \gamma - \mu y \sin \gamma$$

$$Y' = c_2 + \mu y \cos \gamma + \mu x \sin \gamma$$

## Лабораторная работа №5

### Определение площадей по топокарте и составление экспликаций площадей

Дано: карта М 1 : 10 000 с выделенным участком землепользования.

Требуется:

1. Рассчитать площадь участка землепользования и отдельных угодий.
2. Произвести оценку точности определения участка землепользования
3. Составить экспликацию площадей.

1. Для аналитического расчёта площадей используют следующие формулы:

$$P = \frac{1}{2} \sum_1^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) = \frac{1}{2} \sum_1^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1})$$

где n – количество межевых знаков.

Результаты вычислений заносятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Ведомость вычисления площади проектного участка землепользования по координатам межевых знаков

№ МЗ	Проектные координаты межевых знаков		Разности координат		Произведения	
	X	Y	X <sub>i-1</sub> - X <sub>i+1</sub>	Y <sub>i+1</sub> - Y <sub>i-1</sub>	Y <sub>i</sub> (X <sub>i-1</sub> - X <sub>i+1</sub> )	X <sub>i</sub> (Y <sub>i+1</sub> - Y <sub>i-1</sub> )
(8)						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
(1)						
Σ			0.0	0.0	2P =	2P =
Площадь проектного участка составляет _____ га.						

Ошибка в площади определяется по алгоритму оценки функции от координат вершин участка:

$$m_p^2 = \frac{1}{8} \sum_1^n d_i^2 m_i^2 = \frac{1}{8} m_i^2 \sum_1^n d_i^2,$$

где d – диагонали, соединяющие две точки, смежные с i-й; n – число вершин участка; m<sub>i</sub> – средняя квадратическая ошибка положения вершины участка, составляет примерно 0,2 мм плана (2 м на местности).

Диагонали участка можно определить по формуле:

$$d_i = \sqrt{(y_{i+1} - y_{i-1})^2 + (x_{i-1} - x_{i+1})^2}$$

Результаты вычислений записываются в таблицу 14.

Для определения площадей отдельных участков, они выделяются на карте цветом и составляется экспликация (табл. 15).

Невязка по площади проектного участка определяется по формуле:

$$f_s^{факт} = \sum S_i - S_{анал}^{общ} =$$

Чтобы оценить точность определения площадей отдельных участков графическим методом, фактическая невязка сравнивается с предельно допустимой, которая вычисляется по следующей формуле:

$$f_s^{пред} = \pm \frac{1}{500} S^{общ} =$$

Если фактическая невязка получилась меньше предельной невязки, то площади участков определены с достаточной точностью. Полученную невязку можно распределить в виде поправок. Величина поправки прямо пропорционально площади участка и вычисляется по формуле:

$$\Delta S_i = \frac{f_s^{факт} \cdot S_i}{\sum S_i}$$

$$S_i^{испр} = S_i + \Delta S_i$$

Результаты записываются в таблицу 15.

Таблица 14 – Расчет точности определения площади

Вершины	$m_i$ , м	$d_i$	$d_i^2$	$m_p$
1	2			
2	2			
3	2			
4	2			
5	2			
6	2			
7	2			
8	2			
$\Sigma$				

Таблица 15 – Определение площадей угодий и застроенных участков в пределах участков землепользования (экспликация площадей)

№ п.п.	Название сельскохозяйственных угодий и участков	Площадь $S_i$ , га	Поправка $\Delta S_i$ , га	Исправленное значение, $S_i^{испр}$
1	Н.п. Сидорово (серый)			
2	Река Андога (голубой)			
3	Дороги (черный)			
4	Участок № 4 (розовый)			
5	Участок № 5 (желтый)			
6	Участок № 6 (зеленый)			
7	Участок № 7 (красный)			
	Итого			

**Лабораторная работа № 6**  
**Проектирование геодезической сети для выноса в натуру межевых знаков**

Дано: карта М 1:10 000 с выделенным участком землепользования и 3 геодезическими пунктами триангуляции 4 класса.

Требуется:

1. Запроектировать геодезические пункты вблизи межевых знаков для выноса их в натуру.
2. Выбрать и обосновать инструменты и методику измерений при создании геодезической сети, способ вынесения межевых знаков в натуру.
3. Рассчитать разбивочные элементы и произвести оценку точности разбивочных работ.

Таблица 16 – Технические данные полигонометрии 1-го и 2-го разряда

№ п. п.	Наименование параметров полигонометрии	1 разряд	2 разряд
1	Длина диагонали замкнутого хода	5 км	3 км
2	Длина хода между узловыми точками	3 км	2 км
3	Периметр полигона	15 км	10 км
4	Длина сторон хода:		
	- max	800 м	350 м
	- min	120 м	80 м
	- оптимальная	300 м	200 м
5	Число сторон в ходе	15	15
6	Относительная точность расстояний	1:10000	1:5000
7	Ср. кв. ошибка измерения горизонтального угла	±5»	±10»
8	Предельная угловая невязка	$10\sqrt{n}$	$20\sqrt{n}$

Таблица 17 – Число приёмов при измерении горизонтальных углов в полигонометрии

Полигонометрия	Геодезический прибор	Количество приёмов
I разряд	2Т2, 3Т2КП,	3
	2Т5КП, 3Т5КП,	6
	2Та5, 3Та5	4
II разряд	2Т2, 3Т2КП,	2
	2Т5КП, 3Т5КП,	4
	2Та5, 3Та5	3

Таблица 18 – Число приёмов при измерении длин в полигонометрии

Полигонометрия	Геодезический прибор	Количество приёмов
I разряд	2СТ-10, 4СТ-3	2
	СТ5	3
	3ТА5	2
II разряд	2СТ-10, 4СТ-3	1
	СТ5	2
	3ТА5	1

Таблица 19 – Основные допуски при угловых измерениях в полигонометрии I и II разряда

№№	Параметры измерений	Приборы		
		ЗТ2КП	ЗТ5КП	ЗТа5
1	Расхождения в полуприёмах	12"	0,2"	8"
2	Расхождения между приёмами	6"	0,2"	12"
3	Двойная коллимационная ошибка	12"	—	12"
4	Колебания между повторными отчётами при круговых приёмах	6"	0,2"	8"

Таблица 20 – Координаты исходных пунктов триангуляции IV класса

№ п. п.	Название пункта	X, м	y, м	Высотная отметка
1	Пункт 1			170,2
2	Пункт 2			156,9
3	Пункт 3			160,0
4	Малиновская			159,7

Запроектирован полигонометрический ход 1 разряда длиной 3180 м. Количество пунктов в ходе 8. Максимальная длина стороны данного хода составляет 483 м, минимальная \_\_\_\_\_. Средняя длина стороны \_\_\_\_\_. Начало хода от пункта Малиновская до пункта 1. Пункты ПП1 и ПП2 определены из прямой геодезической засечки. Для измерения углов и длин в запроектированных полигонометрических ходах предусмотрены электронный тахеометр - автомат ЗТА5. Углы измеряются \_\_\_\_\_ круговыми приемами. Длины измеряются \_\_\_\_\_ приемами.

Так как запроектированные пункты полигонометрии расположены вблизи межевых знаков (МЗ), то для выноса МЗ в натуру целесообразно принять полярный способ. За базисную сторону нужно принять более длинную сторону или так, чтобы разбивочный угол измерялся по ходу часовой стрелки. Значение угла вычисляется до секунд.

Вычисление разбивочных элементов для выноса межевых знаков в натуру полярным способом приведено в таблице 6.

Используемые расчетные формулы:

Румб исходной стороны :

$$r_{исх} = \arctg \left| \frac{Y_{исхi} - Y_{ППi}}{X_{исхi} - X_{ППi}} \right|$$

Дирекционный угол  $\alpha_{исх}$  исходной стороны находится в соответствии с таблицей 21.

Таблица 21 – Связь между дирекционными углами и румбами

Приращения координат	Дирекционный угол			
	$\alpha = r$	$\alpha = 180^\circ - r$	$\alpha = 180^\circ + r$	$\alpha = 360^\circ - r$
$\Delta y$	+	+	-	-
$\Delta x$	+	-	-	+

Определяются проектные расстояния по формуле:

$$d_i = \sqrt{(X_{M3} - X_{III})^2 + (Y_{M3} - Y_{III})^2}$$

$$r_i^{np} = \arctg \left| \frac{Y_{M3i} - Y_{IIIi}}{X_{M3i} - X_{IIIi}} \right| \quad \text{и в со-}$$

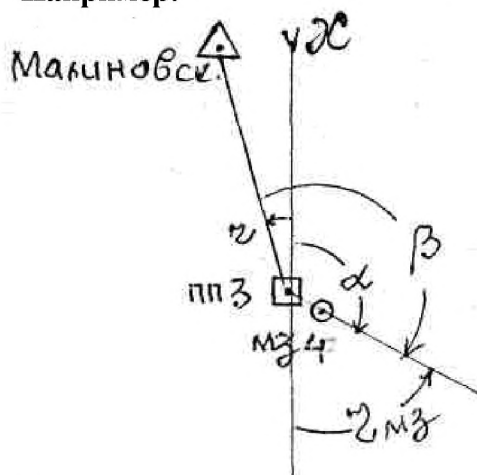
Дирекционные углы  $\alpha_{np}$  на выносимую точку по формуле  
ответствии с таблицей 21.

Разбивочные углы в общем виде (левые по ходу) определяются по формуле:

$$\beta_{разб} = \alpha_{np} - \alpha_{исх}$$

В целях исключения ошибок при расчете разбивочных углы необходимо вычертить схемы полярных засечек с указанием фактических направлений сторон.

**Например:**



$$\beta_{разб} = \alpha_{np} - \alpha_{исх} = \alpha_{np} + r_{M3}$$

Далее производится расчет точности выноса в натуру межевых знаков полярным способом. Используемые расчетные формулы:

- Ошибка построения расстояния,  $m_s = \frac{1}{5000} \cdot d_{np}, м \cdot 1000 мм / м$
- Ошибка построения проектного угла на местности  $m_{уг} = \frac{m_\beta \cdot d_{np}}{\rho} \cdot 1000 мм / м$ , где  $m_\beta = 5''$ ,  $\rho = 206265''$
- Ошибка за центрировку прибора и редукцию визирной оси

$$m_{ц.р.} = m_e \sqrt{1 + \left(\frac{d_{np}}{b}\right)^2 - \left(\frac{d_{np}}{b}\right) \cos \beta_{разб}}$$

где  $m_e = 2 мм$  – среднеквадратическая ошибка оптического центрирования,  $b$  – длина базиса.

- Ошибка фиксирования точки на местности  $m_{фикс} = 2 мм$
- Ошибка положения исходной точки на местности  $m_{исх} = 70 мм$
- Общая среднеквадратическая ошибка выноса межевого знака в натуру:

$$m_{общ} = \sqrt{m_s^2 + m_{уг}^2 + m_{ц.р.}^2 + m_{фикс}^2 + m_{исх}^2}$$



Таблица 22 – Расчет разбивочных элементов для выноса проектных точек в натуру полярным способом

Подходные пункты	координаты		Исходные пункты	координаты		Базисная линия	Приращения координат		Румб базисной линии	Формула перехода между румбами и дир. углами	Дирекционный угол базисной линии
	X <sub>пп</sub>	Y <sub>пп</sub>		X <sub>исх</sub>	Y <sub>исх</sub>		X <sub>исх</sub> -X <sub>пп</sub>	Y <sub>исх</sub> -Y <sub>пп</sub>			
Пункт 1			Малиновская			Пункт 1 Малиновская					
ПП1			Малиновская			ПП1-Малиновская					
ПП2			Пункт 1			ПП2-пункт 1					
ПП3			Малиновская			ПП3-Малиновская					
ПП4			ПП3			ПП4-ПП3					
ПП6			ПП5			ПП6-ПП5					
ПП7			ПП8			ПП7-ПП8					
ПП8			ПП9			ПП8-ПП9					

Продолжение таблицы 7

Подходные пункты	Координаты исходных пунктов, м		№ выносимых точек	Координаты выносимых пунктов, м		Приращения координат		Румб на выносимую точку $r_{пр}$	Формула перехода между румбами и дир. углами	Дирекционный угол на выносимую точку $\alpha_{пр}$	Разбивочный угол $\beta_i$	Проектное расстояние $d_{пр}$ , м
	X <sub>пп</sub>	Y <sub>пп</sub>		X <sub>мз</sub>	Y <sub>мз</sub>	X <sub>мз</sub> -X <sub>пп</sub>	Y <sub>мз</sub> -Y <sub>пп</sub>					
Пункт 1			МЗ1									
ПП1			МЗ 2									
ПП2			МЗ 3									
ПП3			МЗ 4									
ПП4			МЗ 5									
ПП6			МЗ 6									
ПП7			МЗ 7									
ПП8			МЗ 8									

Таблица 23 – Расчет точности выноса в натуру межевых знаков полярным способом

Номер выносимой точки	$m_s$	$m_{уг.}$	$m_{ц.р.}$	$m_{фикс.}$	$m_{исх.}$	$m_{общ.}$
1				2	70	
2				2	70	
3				2	70	
4				2	70	
5				2	70	
6				2	70	
7				2	70	
8				2	70	