МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра маркшейдерского дела, кадастра и геодезии

Составитель

Т. Б. Рогова

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Методические указания к самостоятельной работе

Рекомендовано учебно-методической комиссией
специализации 130404.65 «Маркшейдерское дело»
в качестве электронного издания для самостоятельной работы

КЕМЕРОВО 2014

УДК 622.1

Рецензенты:

Бахаева С. П. – д. т. н., профессор кафедры маркшейдерского дела, кадастра и геодезии

Игнатов Ю. М. – к. т. н., председатель учебно-методической комиссии специализации 130404.65 «Маркшейдерское дело»

Рогова Тамара Борисовна. Анализ точности маркшейдерских измерений: методические указания к самостоятельной работе [Электронный ресурс] для студентов специальности 21.05.04 (130400.65(«Горное дело», специализация «Маркшейдерское дело», очной формы обучения / сост. : Т. Б. Рогова. – Кемерово : КузГТУ, 2014. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 8 Мб ; Windows XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Приведены темы для самостоятельной работы, методические рекомендации для самостоятельного выполнения расчетов, предрасчетов погрешностей и уравнивания маркшейдерских измерений, а также примерные оценочные средства для текущего контроля и промежуточной аттестации.

© КузГТУ, 2014
© Рогова Т. Б.,
составление, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания составлены на основании требований федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС) к обязательному минимуму содержания и уровню специальности 21.05.04 (130400.65) «Горное дело» специализации «Маркшейдерское дело» очной формы.

Дисциплина «Анализ точности маркшейдерских измерений» относится к базовой части профессионального цикла С.3, изучается студентами специализации 21.05.04 (130400.65) «Маркшейдерское дело» в восьмом семестре, опирается на знания, полученные при изучении дисциплин: «Геодезия», «Маркшейдерские работы при подземной и открытой разработке полезных ископаемых», «Математическая обработка результатов измерений», «Маркшейдерско-геодезические приборы».

Дисциплина формирует представление о различных аспектах обработки результатов маркшейдерских съемок, что позволяет осознанно подойти в дальнейшем к изучению других дисциплин профессионального цикла, таких как «Маркшейдерское обеспечение безопасности горных работ», «Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений», а также при выполнении дипломного проекта, в рамках которых происходит более подробное рассмотрение использования результатов измерений в практической работе горного инженера маркшейдера.

Освоение дисциплины направлено на формирование профессиональных (ПК-13) и профессионально-специализированных компетенций (ПСК-4-1, ПСК-4-3);

– **ПК-13** – способность обрабатывать и интерпретировать результаты маркшейдерских измерений: **знать** правила оценки точности измерений; **уметь** производить расчеты точности выполненных измерений; **владеть** навыками обработки результатов измерений с оценкой точности.

– **СК-4-1** – готовность отображать информацию о пространственно-временных характеристиках состояния земной поверхности и недр, горнотехнических систем, подземных и наземных сооружений в соответствии с современными нормативными требованиями: **знать** инструктивно-методические требования к точности выполнения маркшейдерских работ;

уметь устанавливать необходимую и достаточную точность измерений для решения практических задач; **владеть** навыками использования нормативно-методической документации в части маркшейдерского обеспечения ведения горных работ;

– ПСК-4-3 – способность составлять проекты маркшейдерских работ: **знать** требования к составу и содержанию проектов построения маркшейдерских сетей и выполнения маркшейдерских съемок; **уметь** выполнять предрасчеты ожидаемой погрешности измерений при проектировании маркшейдерских сетей, выбирать методы и средства измерений для достижения оптимальных результатов; **владеть** навыками составления проектов построения маркшейдерских сетей и выполнения маркшейдерских съемок.

Методические указания по самостоятельной работе для студентов позволят им находить правильные решения задач предрасчетов и оценки точности маркшейдерских съемок.

В процессе подготовки данных указаний использованы методические разработки доцента, к. т. н. Марченко Порфирия Аверьяновича.

ЦЕЛЬ, ФОРМЫ И КОНТРОЛЬ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Целью освоения дисциплины «Анализ точности маркшейдерских измерений» является подготовка студентов к решению профессиональных задач по обеспечению необходимой и достаточной точности выполнения съемок объектов горных работ.

Цель самостоятельной работы – систематическое изучение дисциплины в течение семестра, закрепление и углубление полученных знаний и навыков, подготовка к предстоящим занятиям, а также формирование культуры умственного труда и самостоятельности в поиске и приобретении новых знаний и умений.

Систематическое самостоятельное изучение дисциплины позволит студенту достигнуть уровня требований ФГОС высшего профессионального образования к профессиональной подготовленности горного инженера-маркшейдера.

Самостоятельная работа студента включает следующие формы:

– изучение и повторение тем лекций, работу с научно-методической литературой и нормативными документами;

– теоретическую подготовку с использованием лекционных материалов и рекомендуемой литературы к зачету;

– подготовку к лабораторным занятиям и их оформление;

– изучение отдельных тем дисциплины, не рассматриваемых на аудиторных занятиях.

Контроль самостоятельной работы осуществляется во время проведения текущего контроля успеваемости на 5, 9, 13 и 17 неделях в форме устного опроса и собеседования на лабораторных занятиях, консультациях, в процессе выполнения контрольных заданий и зачета по дисциплине.

СОДЕРЖАНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Дисциплина «Анализ точности маркшейдерских измерений» (108 ч) предусматривает лекции (18 ч), лабораторные занятия (34 ч), самостоятельную работу (56 ч), которая включает:

– теоретическую подготовку с использованием лекционных материалов (18 ч) и рекомендуемой литературы к занятиям и зачету (24 ч) [1–10];

– оформление расчетов к лабораторным работам в электронных таблицах Excel (6 ч) и графических приложений работ с использованием графических редакторов на ПЭВМ (8 ч).

Распределение трудоемкости на выполнение самостоятельной работы приведено в табл. А.

Таблица А

Содержание и трудоемкость самостоятельной работы дисциплины

Неделя	Раздел	Вид самостоятельной работы, литература	Трудоемкость	
			Часы	ЗЕ
1–4	1, 2, 3	Изучение литературы [1;3,4;5]. Выполнение и оформление лабораторной работы № 1. Подготовка к письменному опросу.	16	0,31
5–8	4, 5	Изучение литературы [3,4,5,8]. Выполнение и оформление лабораторной работы № 2. Подготовка к письменному опросу.	16	0,31
9–12	6	Изучение литературы [1,3,4,6,7,10]. Выполнение и оформление лабораторной работы № 3. Подготовка к письменному опросу.	16	0,31
13–17	7	Изучение литературы [1,2,3,9,11]. Выполнение лабораторной работы № 4.	16	0,63
		ИТОГО	**56**	**1,56**

В табл. Б определены темы для самостоятельного изучения дисциплины и приведена литература, помогающая освоить материал.

Таблица Б

Темы самостоятельного изучения дисциплины

№ п/п	Наименования тем, их содержание и литература	Объем в часах
1	Геодезические засечки и оценка их точности [1, 2, 4 (с. 135–140)].	1
2	Погрешности измерения длин сторон светодальномерами [1, 5 (С. 345–346)].	1
3	Точность различных схем построения подземных полигонометрических и теодолитных ходов [4 (с. 129–131), 11].	2
4	Необходимая и достаточная точность измерения вертикальных углов в подземной полигонометрии [1, 5 (с. 330–332)].	1
5	Упрощенный способ уравнивания отдельных полигонометрических и нивелирных ходов [5 (с. 374–376)].	1
6	Проект построения подземной маркшейдерской опорной сети [1, 10 (с. 126–130), 11].	2
7	Расчет количества «твердых» дирекционных углов в подземной полигонометрии [7].	2
8	Уравнивание подземных полигонометрических и нивелирных ходов: способом узлов [5 (с. 384–388)], способом эквивалентной замены [5 (с. 388–391)].	3
9	Производство маркшейдерских вычислений при уравнивании с помощью ЭВМ [5 (с. 391–395), 6, 10 (с. 205–213].	3
10	Анализ соединительных съемок (соединительный треугольник, через два вертикальных ствола). Центрирование подземной сети. [1, 4 (с. 143–166)].	3
11	Определение погрешности смыкания сбойки, проводимой в пределах одной шахты; из разных шахт. Оптимальное размещение гиросторон [1, 3, 4 (с. 169–182), 10 (с. 73, 164–171].	5
	ИТОГО	24

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ АНАЛИЗА ТОЧНОСТИ УГЛОВЫХ И ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СЪЕМОК

1.1. Вычисление средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла m_β

1. Для каждого замкнутого полигона устанавливают допустимую угловую невязку:

$$f_{\beta_д} = 2m_\beta\sqrt{n}, \qquad (1)$$

где m_β – средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла, рекомендуемая Инструкцией [1] для подземных полигонометрических ходов ($m_\beta = 20''$); n – количество углов в замкнутом полигоне.

2. Полигоны, в которых фактическая угловая невязка f_β оказалась больше допустимой $f_{доп}$, в дальнейшие расчеты не принимают.

3. Вычисляют погрешность измерения углов по основной (2) и контрольной (3) формулам

$$m_\beta = \sqrt{\frac{\left[\frac{f_\beta^2}{n}\right]}{N}} \quad (2), \qquad m_\beta = \sqrt{\frac{\left[f_\beta^2\right]}{[n]}}, \qquad (3)$$

где $\left[\frac{f_\beta^2}{n}\right] = \frac{f_{\beta_1}^2}{n_1} + \frac{f_{\beta_2}^2}{n_2} + ... + \frac{f_{\beta_N}^2}{n_N}$; N – количество принятых к расчету полигонов; $\left[f_\beta^2\right] = f_{\beta_1}^2 + f_{\beta_2}^2 + ... + f_{\beta_N}^2$; $[n] = n_1 + n_2 + ... + n_N$.

Таблица 1

Расчет средней квадратической погрешности измерения угла m_β

№ пп	Номер полигона	Число вершин полигона n	Угловая невязка полигона f_β, с	Допустимая угловая невязка $f_{\beta_д}$, с	f_β^2	$\frac{f_\beta^2}{n}$
1						
2						
…						
N						
		$\sum$			$\sum$	$\sum$
					m_β	m_β

1.2. Вычисление коэффициента случайного влияния μ при измерении длин сторон

1. Вычисляют фактическую разность двойных независимых измерений для каждой выбранной стороны по формуле

$$d_i = l_{i_п} - l_{i_о}, \text{ м.} \tag{4}$$

2. Вычисляют для каждой из выбранных сторон допустимую разность двойных независимых измерений

$$d_{i_д} = \frac{1}{3000} l_i, \tag{5}$$

где l – длина стороны.

3. Стороны, у которых фактические разности d_i оказались больше допустимых $d_{i_д}$, в дальнейшие расчеты не принимают.

4. Устанавливают наличие систематических погрешностей в двойных измерениях. Для этого проверяют условие

$$\left|[d_i]\right| \le 0{,}25[\left|d_i\right|]. \tag{6}$$

5. При выполнении условия вычисляют коэффициент случайного влияния μ по основной (7) и контрольной (8) формулам

$$\mu = \sqrt{\frac{\left[\frac{dd}{l}\right]}{2k}},\ \text{м}^{1/2} \quad (7), \qquad \mu = \sqrt{\frac{[dd]}{2[l]}},\ \text{м}^{1/2}, \qquad (8)$$

где k – количество принятых к расчету сторон; $[d^2] = d_1^2 + d_2^2 + ... + d_k^2$; $\left[\frac{d^2}{l}\right] = \frac{d_1^2}{l_1} + \frac{d_2^2}{l_2} + ... + \frac{d_k^2}{l_k}$; $[l] = l_1 + l_2 + ... + l_k$.

6. При невыполнении условия в результатах измерений присутствуют систематические погрешности, которые следует исключить. Систематическая погрешность λ рассчитывается по формуле

$$\lambda = \frac{[d_i]}{[l_i]}. \qquad (9)$$

7. Вычисляются двойные разности, свободные от систематической погрешности

$$d_i^{\text{o}} = d_i - \lambda l_i \qquad (10)$$

и коэффициент случайного влияния μ

$$\mu = \sqrt{\frac{\left[\frac{d^{\text{o}} d^{\text{o}}}{l}\right]}{2(k-1)}},\ \text{м}^{1/2}. \qquad (11)$$

В формулах (6) и (7) принимают d и l в метрах.

Таблица 2

Расчет коэффициента случайного влияния μ
при измерении длин линий

№ пп	Номер сторо-ны	Длина стороны, м		d, м	$d_{доп}$, м	dd	$\frac{dd}{l}$	d^{o}	$d^{o}d^{o}$
		$l_п$	$l_о$						
1									
2									
…									
N									
		Σ		Σ		Σ	Σ		Σ
						μ	μ		μ

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТА СВОБОДНОГО ПОЛИГОНА В ПЛАНЕ И ПО ВЫСОТЕ

2.1. Погрешность положения пункта хода в плане

1. На схеме (рис. 1) проектного полигонометрического хода *А*, 1, 2, …8, *К* через конечный пункт хода *К* проводят условные координатные оси *X* и *Y*. Ось *X*, как ответственное направление, проводят перпендикулярно оси выработки на этом участке, ось *Y* – вдоль оси выработки. Таким образом, расчет погрешности положения пункта в плане будет производиться по направлениям выбранных осей, т. е. в направлении, перпендикулярном оси выработки и вдоль неё.

2. В общем виде погрешность координат конечного пункта свободного (висячего) полигонометрического хода *К* определяют по формулам

$$m_{x_K}^2 = m_{x_K(\beta)}^2 + m_{x_K(l)}^2 + m_{x_K(\alpha)}^2, \qquad (12)$$

$$m_{y_K}^2 = m_{y_K(\beta)}^2 + m_{y_K(l)}^2 + m_{y_K(\alpha)}^2, \qquad (13)$$

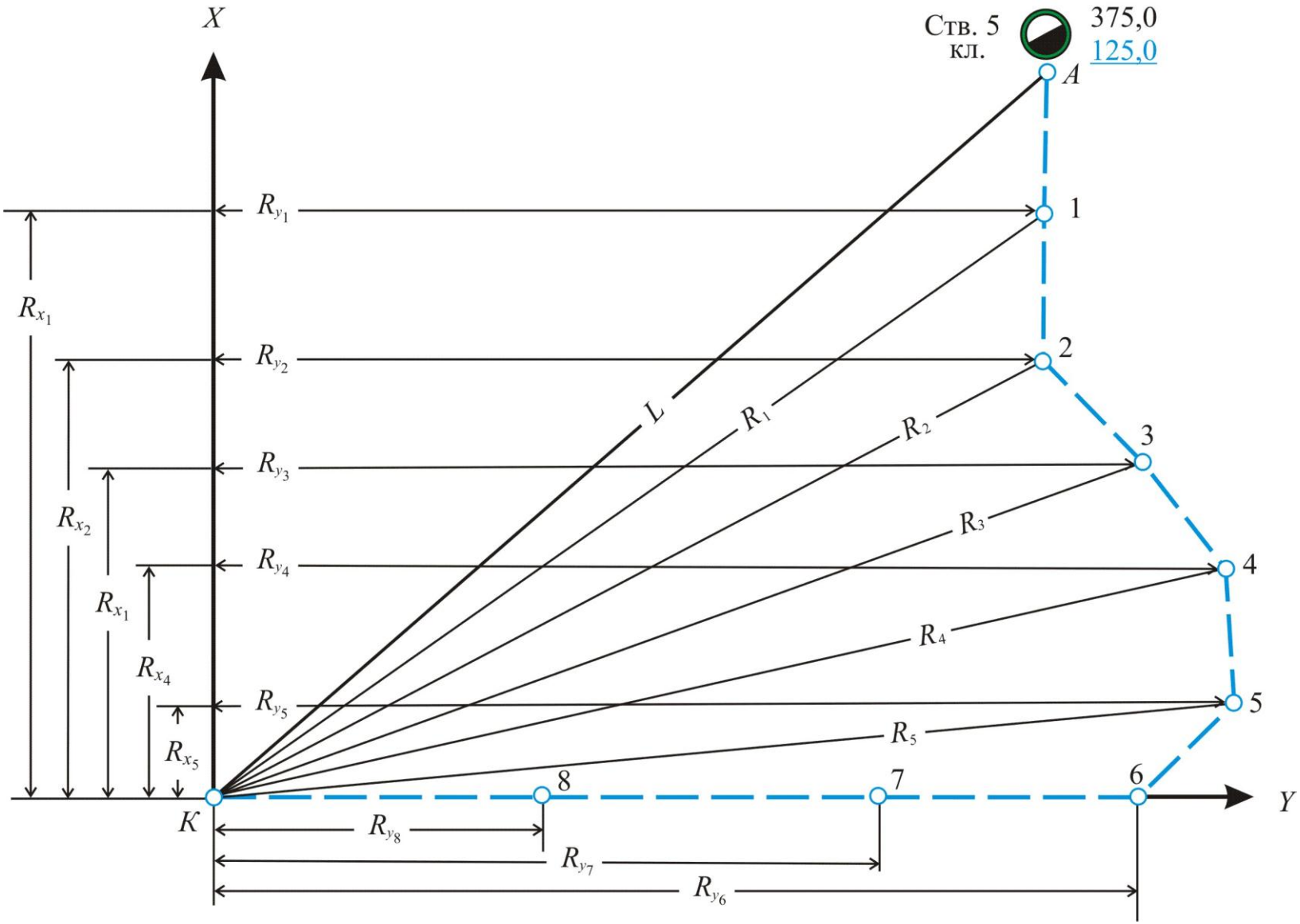

Рис. 1. Схема полигонометрического хода

где $m_{x_K(\beta)}, m_{y_K(\beta)}$ – средняя квадратическая погрешность соответственно абсциссы и ординаты пункта, обусловленная погрешностями измерения углов в ходе; $m_{x_K(l)}, m_{y_K(l)}$ – средняя квадратическая погрешность соответственно абсциссы и ординаты пункта, обусловленная погрешностями измерения длин сторон хода; $m_{x_K(\alpha)}, m_{y_K(\alpha)}$ – средняя квадратическая погрешность координат пункта, обусловленная погрешностями ориентирования исходной стороны хода.

3. Расчет погрешности координат пункта *К*, обусловленной погрешностями измерения углов в ходе.

3.1. В общем виде погрешность определяют по формулам

$$m^2_{x_K(\beta)} = \frac{1}{\rho^2} \sum_1^{k-1} R^2_{y_i} m^2_{\beta_i}, \tag{14}$$

$$m^2_{y_K(\beta)} = \frac{1}{\rho^2} \sum_1^{k-1} R^2_{x_i} m^2_{\beta_i}, \tag{15}$$

$$m^2_{s_K(\beta)} = \frac{1}{\rho^2} \sum_1^{k-1} R^2_i m^2_{\beta_i}, \tag{16}$$

где R_{x_i}, R_{y_i} – проекции на координатные оси расстояний R_i, соединяющих конечный пункт хода *К*, погрешность которого определяется, со всеми вершинами хода (снимают с плана, рис. 1); $(k-1)$ – количество углов, измеренных в ходе; m_β – средняя квадратическая погрешность измерения угла.

3.2. Расчет средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла m_β производится по формуле

$$m_\beta = \sqrt{m_i^2 + \frac{\rho^2 e_T^2}{2a^2b^2}(a^2 + b^2 - 2ab\cos\beta) + \frac{\rho^2 e_C^2}{2a^2b^2}(a^2 + b^2)}, \tag{17}$$

где $e_т$, $e_с$ – линейные погрешности центрирования соответственно теодолита и сигналов (принять $e_т = e_с\sqrt{2}$), м; a, b – стороны измеренного угла (снимают с плана), м; β – значение измеренного угла (определяют на плане), град; m_i – погрешность собственно измерения угла.

Погрешность собственно измерения угла определяют по формулам:

– при измерении углов способом повторений

$$m_i = \sqrt{\frac{m_о^2}{2n^2} + \frac{m_ν^2}{n}}; \qquad (18)$$

– при измерении углов способом приемов

$$m_i = \sqrt{\frac{m_о^2}{g} + \frac{m_ν^2}{g}}, \qquad (19)$$

где n, g – соответственно количество повторений и приемов; $m_ν$ – погрешность визирования на сигнал; $m_о$ – погрешность отсчитывания по отсчетным приспособлениям теодолита.

Погрешности $m_ν$ и $m_о$ определяют по формулам

$$m_ν = \frac{140''}{V^x}, \qquad (20)$$

$$m_о = \frac{t}{2}, \qquad (21)$$

где V^x – кратность увеличения трубы теодолита; t – точность отсчитывания по верньеру или микроскопу, с.

Все расчеты по определению погрешности $m_β$ (по формулам (17–21) рекомендуется производить в таблице (табл. 3).

Таблица 3

Расчет погрешности измерения углов

Вершина	Длина стороны l, м		Угол β, град	$m_{\text{о}}$, с	m_{v}, с	m_{i}, с	$e_{\text{т}}$, м	$e_{\text{с}}$, м	m_{β_i}, с
	a	b							
1									
2									
…									
…									
$k-1$									

Таблица 4

Расчет величин $\sum R_{x_i}^2 m_{\beta_i}^2$, $\sum R_{y_i}^2 m_{\beta_i}^2$ и $\sum R_i^2 m_{\beta_i}^2$

Вершина	m_{β_i}, с	R_{x_i}, м	$R_{x_i}^2 m_{\beta_i}^2$	R_{y_i}, м	$R_{y_i}^2 m_{\beta_i}^2$	R_i, м	$R_i^2 m_{\beta_i}^2$
1							
2							
…							
…							
$k-1$							
			$\sum$		$\sum$		$\sum$

3.3. Расчет значений $\sum_{1}^{k-1} R_{x_i}^2 m_{\beta_i}^2$, $\sum_{1}^{k-1} R_{y_i}^2 m_{\beta_i}^2$ и $\sum_{1}^{k-1} R_i^2 m_{\beta_i}^2$ для вычисления погрешностей $m_{x_K(\beta)}^2, m_{y_K(\beta)}^2$ и $m_{s_K(\beta)}^2$ по формулам (14), (15), (16) рекомендуется производить в таблице (табл. 4).

4. Расчет погрешности координат конечного пункт хода K, обусловленной погрешностями измерения длин сторон в ходе, в общем виде выполняется по формулам

$$m_{x_K(l)}^2 = \mu^2 \sum_{1}^{k} l_i \cos^2\alpha_i + \lambda^2 L^2 \cos^2\theta \ , \qquad (22)$$

$$m_{y_K(l)}^2 = \mu^2 \sum_{1}^{k} l_i \sin^2\alpha_i + \lambda^2 L^2 \sin^2\theta \ , \qquad (23)$$

$$m_{s_K(l)}^2 = \mu^2 \sum_{1}^{k} l_i + \lambda^2 L^2 \ , \qquad (24)$$

где μ, λ – коэффициенты соответственно случайного и систематического влияния при измерении длин линий ($\mu = 0{,}001$ м$^{1/2}$, $\lambda = 0{,}00005$); l_i – длина стороны хода, м; α_i – дирекционный угол стороны хода (определяют на плане или рассчитывают по дирекционному углу исходной стороны и измеренным углам хода β); L – длина замыкающей хода, м; θ – дирекционный угол замыкающей хода, град.; k – количество сторон в ходе.

Расчеты параметров формул (22)–(24) рекомендуется производить в таблице (табл. 5).

Таблица 5

Расчет значений $\sum_{1}^{k} l_i \cos^2\alpha_i$ и $\sum_{1}^{k} l_i \sin^2\alpha_i$

Сторона	Длина стороны l, м	Дирекционный угол α, град	$l\sin^2\alpha$, м	$l\cos^2\alpha$, м
А–1				
1–2				
(k–1)–k				
	$\sum$		$\sum$	$\sum$

5. Расчет погрешности конечного пункта хода K, обусловленной погрешностью ориентирования исходной стороны хода.

В общем виде погрешность определяется по формулам

$$m^2_{x_K(\alpha)} = \frac{L_y^2 m_\alpha^2}{\rho^2}, \tag{25}$$

$$m^2_{y_K(\alpha)} = \frac{L_x^2 m_\alpha^2}{\rho^2}, \tag{26}$$

$$m^2_{s_K(\alpha)} = \frac{L^2 m_\alpha^2}{\rho^2}, \tag{27}$$

где L_x, L_y – проекции на координатные оси кратчайшего расстояния L от пункта хода, погрешность которого определяют, – пункта K, до исходного пункта хода A (L – длина замыкающей хода).

6. По формулам (12) и (13) определяют погрешности координат пункта хода K от всех видов погрешностей и по формуле (28) общую линейную погрешность

$$m^2_{s_K} = m^2_{s_K(\alpha)} + m^2_{s_K(\beta)} + m^2_{s_K(l)}. \tag{28}$$

7. Определяют ожидаемую погрешность положения пункта K с учетом того, что висячие ходы должны прокладываться дважды:

$$m_{\text{ож}} = \frac{3m_{s_K}}{\sqrt{2}}. \tag{29}$$

Ожидаемая погрешность не должна превышать допустимую, рекомендуемую Инструкцией [1]. Согласно [1] средняя квадратическая погрешность положения наиболее удаленных пунктов подземной маркшейдерской опорной сети относительно исходных пунктов допускается не более 0,8 мм на плане. Так при масштабе съемки 1:1000 эта погрешность составит 0,8 м, при масштабе съемки 1:2000 – соответственно, 1,6 м.

2.2. Погрешность конечного пункта хода по высоте

При геометрическом нивелировании по выработкам околоствольного двора погрешность конечного пункта хода относительно исходного пункта на поверхности определяют по формуле

$$m_{h_K}^2 = m_Z^2 + m_{\text{гн}}^2 , \qquad (30)$$

где m_Z – погрешность передачи высотной отметки Z с поверхности в шахту

$$m_Z = \frac{0{,}0003H}{2\sqrt{2}}, \text{ м}; \qquad (31)$$

$m_{\text{гн}}$ – погрешность хода геометрического нивелирования

$$m_{\text{гн}}^2 = 2nm_{\text{о}}^2, \text{ м}^2; \qquad (32)$$

H – глубина ствола, через который выполнена передача отметки Z, м; n – количество станций нивелирования в ходе

$$l_{\text{о}} = \frac{\sum l}{2n} , \qquad (33)$$

где $\sum l$ – периметр хода нивелирования, м; $l_{\text{о}}$ – длина плеча нивелирования (расстояние от нивелира до рейки), м; $m_{\text{о}}$ – погрешность определения превышения на станцию.

$$m_{\text{о}} = \frac{l_{\text{о}}}{\rho}\sqrt{\frac{2\cdot 10^4}{V^2} + \frac{\tau^2}{100}}, \text{ м}, \qquad (34)$$

где V – кратность увеличения трубы нивелира; τ – цена деления уровня нивелира, с.

При использовании нивелира с компенсатором

$$m_{\text{о}} = \frac{l_{\text{о}}}{\rho}\sqrt{\frac{2\cdot 10^4}{V^2} + m_\tau^2}\text{, м,} \qquad (35)$$

где m_τ – погрешность (точность) компенсации (погрешность самоустановки), с.

Ожидаемую погрешность пункта K по высоте определяют как

$$m_{\text{ож}} = 3m_{h_K}. \qquad (36)$$

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОГРЕШНОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТА ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО ХОДА, МНОГОКРАТНО ОРИЕНТИРОВАННОГО ГИРОСКОПИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

При многократном гироскопическом ориентировании (более двух сторон) полигонометрия разбивается на секции.

Под секцией понимается участок хода между «твердыми» дирекционными углами, полученными из гироскопического ориентирования, или опирающийся на один дирекционный угол. Секция, опирающаяся на один дирекционный угол, называется начальной или конечной, на две – промежуточной.

Многократно ориентированная полигонометрия может быть вычислена:

– по непосредственно измеренным горизонтальным углам и «твердым» дирекционным углам из ориентирования;

– по исправленным горизонтальным углам отдельных секций за условие «твердых» дирекционных углов.

Требования «Инструкции…» [1] к подземной многократно ориентированной полигонометрии:

п. 156: Построение подземных маркшейдерских опорных сетей выполняется с разделением полигонометрических ходов на секции с гироскопически ориентированными сторонами (гиросторонами).

п. 157: Построение систем полигонометрических ходов, разделенных на секции гиросторонами, производят при удалении пунктов сетей от точек центрирования на расстояние более 2 км. Гиростороны размещают через 20–30 углов, или их положение и число определяют при составлении проекта сети. Закрепляют гиростороны постоянными пунктами.

1. Для предрасчета погрешности положения пункта полигонометрии на плане горных выработок намечают вершины проектных полигонометрических ходов.

2. Согласно «Инструкции…» [1, п. 159] определяют максимально допустимые средние квадратические погрешности измерения:

– горизонтальных углов ($m_\beta = 20''$);

– дирекционных углов сторон, полученных путем гироскопического ориентирования ($m_\alpha = 1'$).

3. Устанавливают согласно «Инструкции…» допустимую погрешность положения конечной точки хода Δ_s [1, п. 156: Средняя квадратическая погрешность положения наиболее удаленных пунктов подземной маркшейдерской опорной сети относительно исходных пунктов допускается не более 0,8 мм на плане].

4. Рассчитывают необходимое количество гироскопически ориентированных сторон, исходя из заданной предельной погрешности положения конечного пункта хода[1].

Необходимое количество гиросторон N определяется из уравнения

$$aN^2 + bN + c = 0, \tag{37}$$

где – a, b, c – коэффициенты квадратного уравнения, определяемые из формул

$$\begin{aligned} a &= 12A^2n^2 + 6m_\alpha^2 + (n-1)m_\beta^2; \\ b &= -24A^2n^2 - 12(n^2 - n - 1)m_\alpha^2 - 2(n-1)m_\beta^2; \\ c &= 12A^2n^2 + 6n(3n-4)m_\alpha^2 - n(n-1)(n-2)m_\beta^2. \end{aligned} \tag{38}$$

где n – число сторон в ходе.

---

[1] Методика расчета предложена В. И. Акуловым, заведующим кафедрой маркшейдерского дела КузПИ в 1963–1975 гг.

Значение A определяется по формуле:

$$A = \frac{\rho \cdot \Delta_s \sqrt{Q}}{tL_o} \cdot \sqrt{\frac{P_{s_l}}{P_{s_{\alpha,\beta}} + P_{s_l}}}; \qquad (39)$$

где – $\rho = 206265''$; Q – количество съемок; t – коэффициент, устанавливаемый по заданной вероятности (при p=0,995 t=3); L_o= (L+[l])/2; L – замыкающая хода; [l] – периметр хода; P_{s_l} – вес погрешности, обусловленной неточностью измерения длин сторон; $P_{s_{\alpha,\beta}}$ – вес погрешности, обусловленной неточностью угловых измерений.

Соотношение весов определяется из формулы

$$\frac{P_{s_l}}{P_{s_{\alpha\beta}}} = \frac{\Delta_s^2 \cdot Q}{t^2(\mu^2[l] + \lambda^2 \cdot L^2)} - 1. \qquad (40)$$

5. После установления необходимого числа гиросторон их размещают примерно равномерно по всей сети.

6. Погрешность положения конечного пункта K многократно ориентированного хода определяют из выражения:

$$m_{s_K}^2 = m_{s_K(\beta)}^2 + m_{s_K(\alpha)}^2 + m_{s_K(l)}^2, \qquad (41)$$

где $m_{s_K(\beta)}^2$ – средняя квадратическая погрешность положения пункта, обусловленная погрешностями измерения горизонтальных углов в ходе; $m_{s_K(\alpha)}^2$ – средняя квадратическая погрешность положения, обусловленная погрешностями многократного ориентирования хода; $m_{s_K(l)}^2$ – средняя квадратическая погрешность положения пункта, обусловленная погрешностями измерения длин сторон хода.

6.1. Для определения погрешности положения конечного пункта *К*, обусловленной погрешностями многократного ориентирования $m_{s_K(\alpha)}$ и погрешностями измерения горизонтальных углов $m_{s_K(\beta)}$, строят специальные расчетные полигоны (рис. 2, 3)[2].

6.1.1. Порядок построения расчетного полигона для хода, вычисленного по непосредственно измеренным горизонтальным углам и дирекционным углам из гироскопического ориентирования:

– начальный пункт полигона *А* соединяют прямой с первым пунктом второй твердой стороны хода $B_2 - t_1$;

– первый пункт второй твердой стороны хода соединяют с первым пунктом третьей «твердой» стороны $B_3 - t_2$;

– первый пункт последней твердой стороны хода соединяют с конечным пунктом хода $K - t_N$;

– начальный пункт хода *А* соединяют со всеми пунктами начальной секции – S_i;

– конечный пункт хода *К* соединяют со всеми пунктами конечной секции – R_i;

– все пункты промежуточной секции соединяют с первым пунктом твердой стороны последующей секции – T_i.

Погрешность $m_{s_{K(\alpha)}}$ определяют по формуле

$$m^2_{s_{K(\alpha)}} = \frac{m^2_\alpha}{\rho^2}\sum_1^N t_i^2 . \qquad (42)$$

Погрешность $m_{s_{K(\beta)}}$ определяют по формуле

$$m^2_{s_{K(\beta)}} = \frac{m^2_\beta}{\rho^2}\left(\sum_1^{n_q} S^2_{i,o} + \sum_1^{N-1}\sum_1^{n_q} T^2_{i,q} + \sum_1^{n_N} R^2_{i,N}\right). \qquad (43)$$

---

[2] *А* – первый пункт хода; *К* – конечный пункт хода; B_1–C_1, B_2–C_2, B_N–C_N – стороны с «твердыми» дирекционными углами; *N* – количество «твердых» углов (секций); *q* – порядковый номер секции; *q* = 0 – начальная секция; *q* = *N* – конечная секция; n_q – число вершин в секции; *i*, *q* – порядковый номер угла в секции; *j*, *q* – порядковый номер стороны в секции.

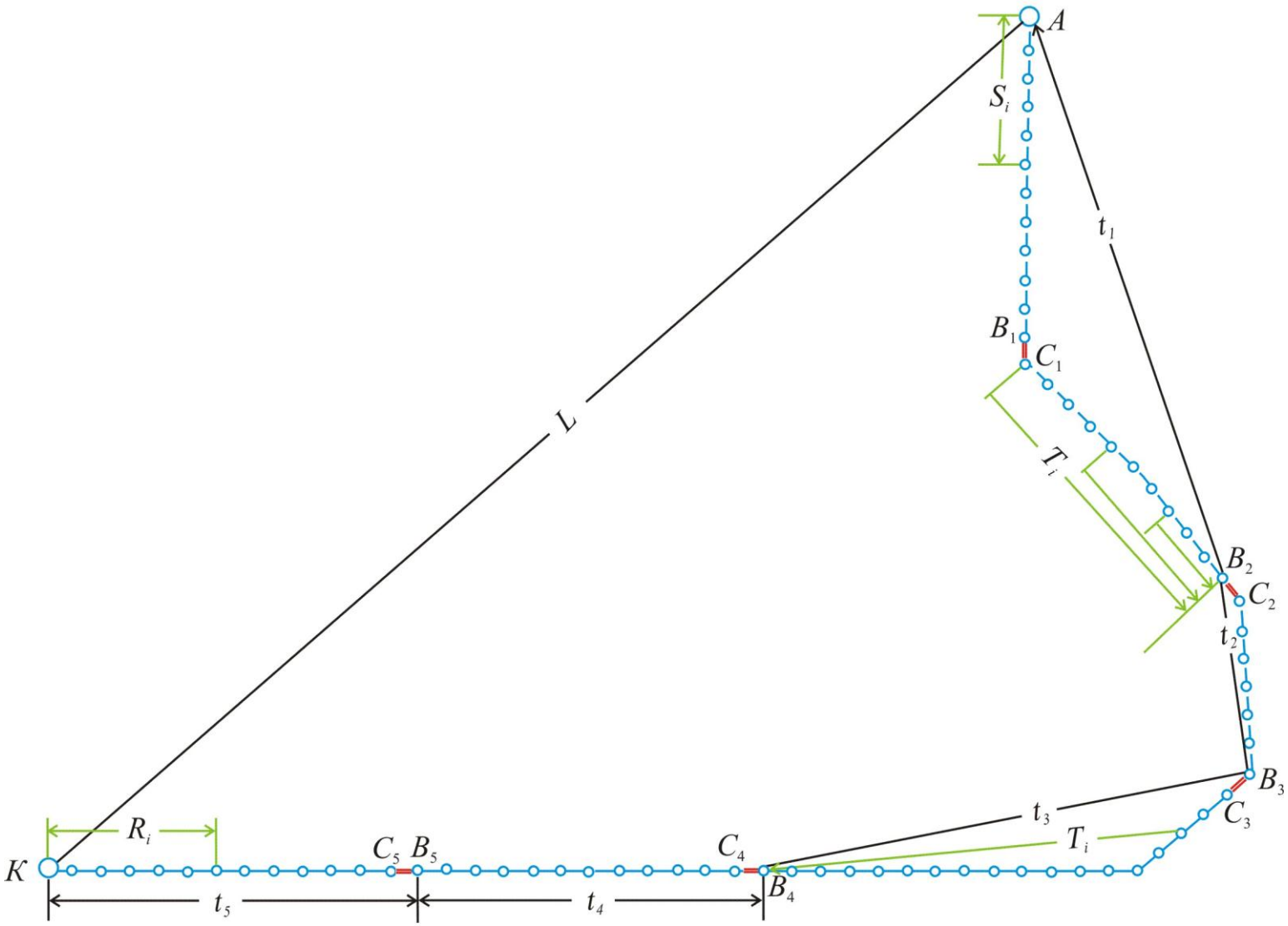

Рис. 2. Расчетный полигон хода, вычисленного по непосредственно измеренным горизонтальным углам и дирекционным углам из гироскопического ориентирования

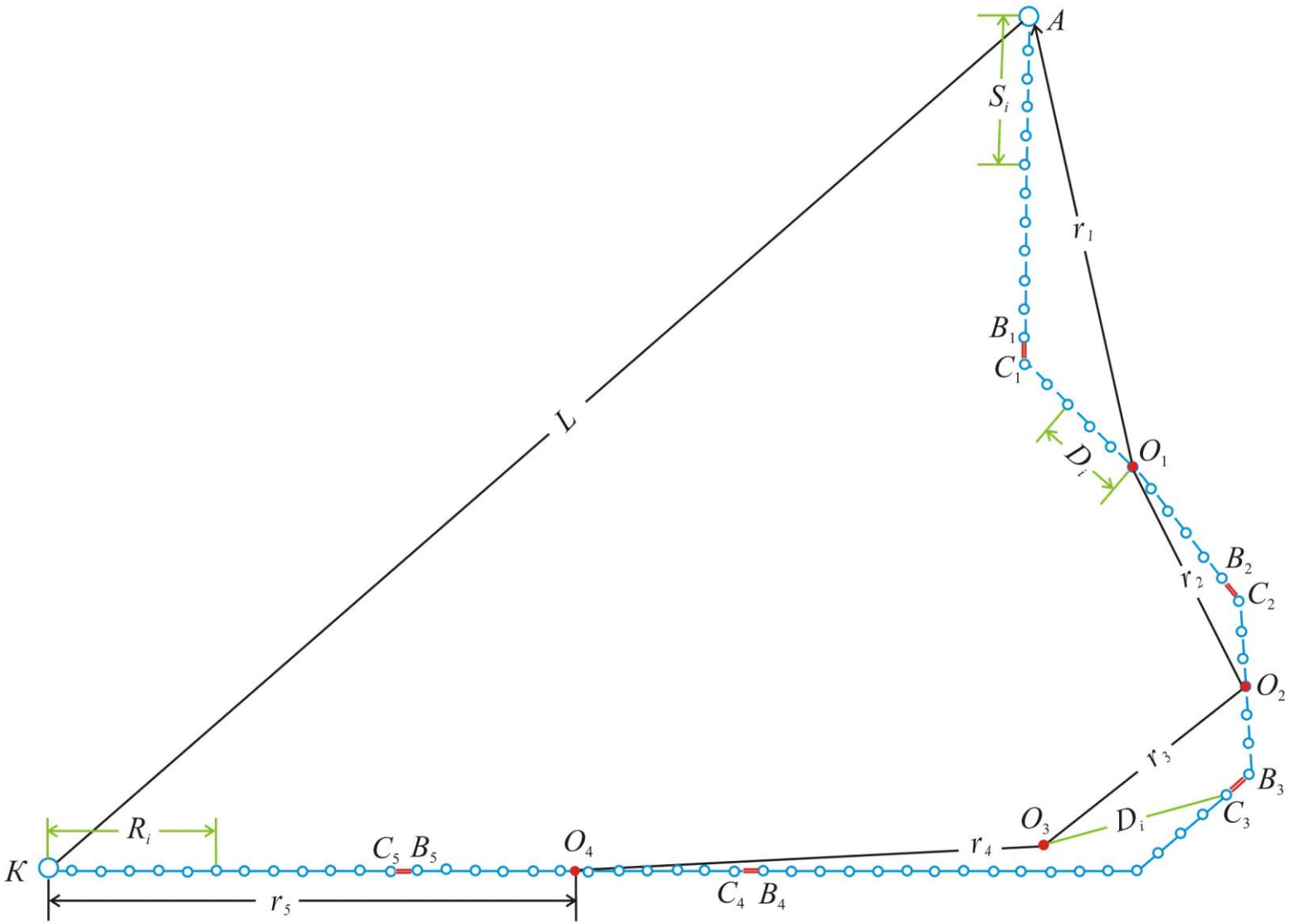

Рис. 3. Расчетный полигон хода, вычисленного по исправленным горизонтальным углам отдельных секций за условие «твердых» дирекционных углов

6.1.2. Порядок построения расчетного полигона для хода, вычисленного по исправленным горизонтальным углам отдельных секций за условие «твердых» дирекционных углов:

– для каждой промежуточной секции определяют координаты центра тяжести:

$$x_{o_q} = \frac{\sum x_{i_q}}{n_q}, \qquad y_{o_q} = \frac{\sum y_{i_q}}{n_q}\ ; \tag{44}$$

– по координатам центры тяжести выносятся на план;

– начальный пункт полигона *А* соединяют прямой с центром тяжести первой промежуточной секции (A–O_1 – r_1), далее последовательно соединяют все центры тяжести промежуточных секций (r_2, r_3, …) и последний пункт *К*;

– начальный пункт хода *А* соединяют со всеми пунктами начальной секции – S_i;

– конечный пункт хода *К* соединяют со всеми пунктами конечной секции – R_i;

– все пункты промежуточной секции соединяют с центром тяжести секции – D_i.

Погрешность $m_{s_{K(\alpha)}}$ определяют по формуле:

$$m^2_{s_{K(\alpha)}} = \frac{m^2_\alpha}{\rho^2}\sum_1^N r_i^2 . \tag{45}$$

Погрешность $m_{s_{K(\beta)}}$ определяют по формуле:

$$m^2_{s_{K(\beta)}} = \frac{m^2_\beta}{\rho^2}\left(\sum_1^{n_q} S^2_{i,o} + \sum_1^{N-1}\sum_1^{n_q} D^2_{i,q} + \sum_1^{n_N} R^2_{i,N}\right). \tag{46}$$

6.2. Расчет погрешности положения конечного пункта хода *К*, обусловленной погрешностями измерения длин сторон в ходе, при измерении длин сторон рулеткой выполняют по формуле

$$m^2_{s_K(l)} = \mu^2 \sum_1^n l_i + \lambda^2 L^2, \qquad (47)$$

при измерении длин дальномерами:

$$m^2_{s_K(l)} = \sum_1^n (a + bl_i)^2. \qquad (48)$$

6.3. Устанавливают ожидаемую линейную погрешность конечного пункта хода и сравнивают ее с допустимой по «Инструкции…» [1].

$$m_{\text{ож}} = \frac{3m_{s_K}}{\sqrt{2}}. \qquad (49)$$

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УРАВНИВАНИЮ СЕТИ ПОДЗЕМНЫХ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДОВ ПО СПОСОБУ ПОЛИГОНОВ

4.1. Распределение угловых невязок

1. Составляется схема уравниваемых полигонов с обозначением их условными номерами 1, 2, 3 (рис. 3).

2. Производят уравнивание углов, измеренных за горизонт (на схеме рис. 4 – это углы при пунктах12 и 13).

2.1. Вычисляют угловую невязку за горизонт (например, для пункта 12):

$$d_{12} = (\beta_{12} + \beta'_{12} + \beta''_{12}) - 360°.$$

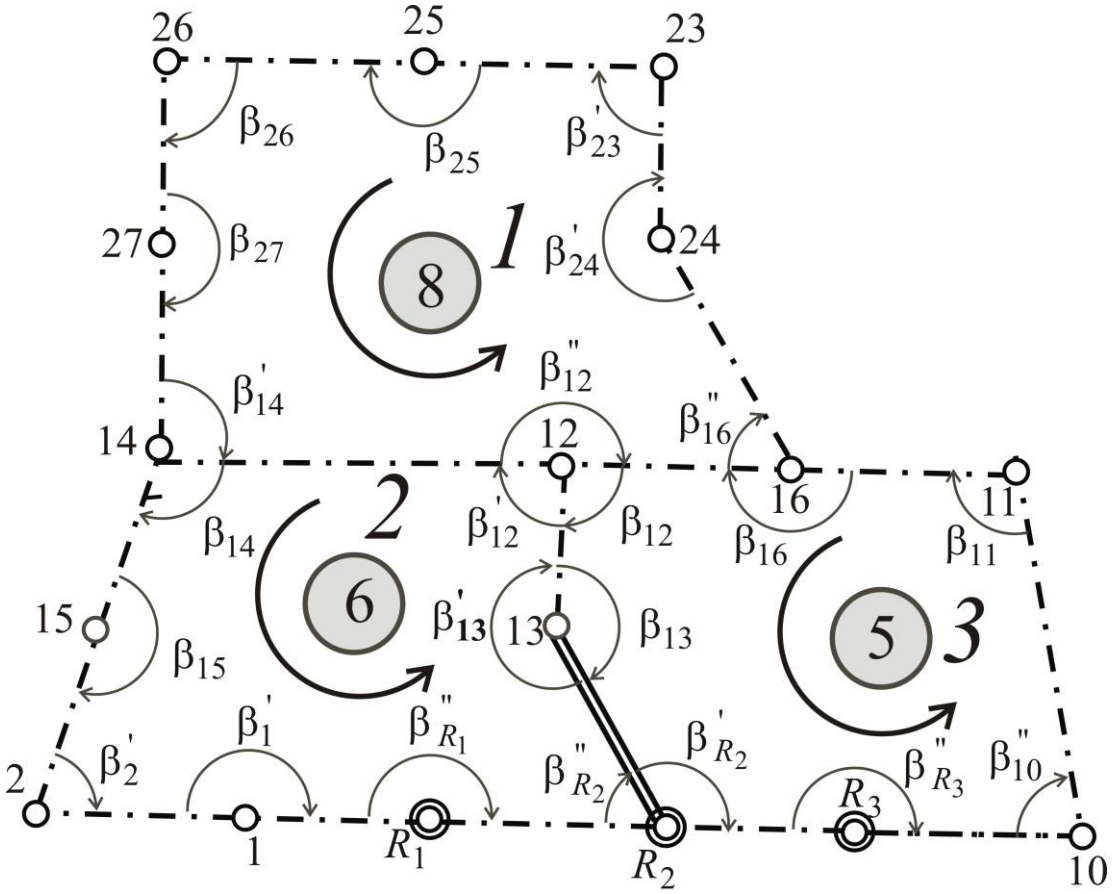

Рис. 4. Схема уравниваемых полигонов

2.2. Угловую невязку распределяют поровну на все углы с обратным знаком, т.е. определяют уравненное значение углов:

$$(\beta_{12})^{o} = \beta_{12} - \frac{d_{12}}{3}; \quad (\beta'_{12})^{o} = \beta'_{12} - \frac{d_{12}}{3}; \quad (\beta''_{12})^{o} = \beta'' - \frac{d_{12}}{3}.$$

Контроль $(\beta_{12})^{o} + (\beta'_{12})^{o} + (\beta''_{12})^{o} - 360° = 0.$

Аналогично уравнивают углы, измеренные на пункте 13.

3. С учетом значений уравненных за горизонт углов вычисляют угловые невязки в каждом полигоне

$$f_{\beta_i} = \sum_{1}^{N_i} \beta_i - (N_i - 2) \times 180°; \qquad (50)$$

и сравнивают их с допустимыми

$$f_{\beta_i} \le 2m_\beta \sqrt{N_i}\,, \qquad (51)$$

где N_i – количество углов (сторон) в замкнутом полигоне; $\sum_1^{N_i} \beta_i$ – сумма внутренних углов, измеренных в полигоне.

4. Составляют систему нормальных уравнений (3 полигона – 3 нормальных уравнения).

Правило составления нормальных уравнений:

– квадратичные члены нормальных уравнений равны общему числу сторон в соответствующем полигоне (N_1, N_2, N_3);

– остальные члены нормальных уравнений имеют знак минус и равны количеству сторон на внутренних участках между соответствующими полигонами ($n_{1,2}$; $n_{1,3}$; $n_{2,3}$);

– свободные члены нормальных уравнений равны угловым невязкам соответствующих полигонов (f_{β_1}, f_{β_2}, f_{β_3}).

Пример системы нормальных уравнений в общем виде:

$$\begin{aligned} N_1K_1 - n_{1,2}K_2 - n_{1,3}K_3 + f_{\beta_1} &= 0. \\ -n_{1,2}K_1 + N_2K_2 - n_{2,3}K_3 + f_{\beta_2} &= 0. \\ -n_{1,3}K_1 - n_{2,3}K_2 + N_3K_3 + f_{\beta_3} &= 0. \end{aligned} \qquad (52)$$

5. Из решения системы нормальных уравнений (52) определяют значения коррелат K_1, K_2, K_3, которые соответственно относятся к полигонам 1, 2 и 3.

6. Вычисляют вероятнейшие поправки ε_{β_i} в измеренные углы.

6.1. Для углов <u>на внешних участках</u> полигонов вероятнейшие поправки равны коррелате соответствующего полигона.

Так для углов $\beta'_{24}, \beta'_{23}, \beta_{25}, \beta_{26}, \beta_{27}$ (рис. 4) вероятнейшие поправки $\varepsilon_{\beta_i} = K_1$, для углов $\beta''_{R_1}, \beta'_1, \beta'_2, \beta_{15}$ – $\varepsilon_{\beta_i} = K_2$, для углов $\beta''_{R_3}, \beta''_{10}, \beta_{11}$ – $\varepsilon_{\beta_i} = K_3$.

6.2. Для углов на внутренних участках полигонов поправки равны коррелате данного полигона минус коррелата полигона, в котором измерен угол, дополняющий первый до 360°. Так, для угла на пункте 13 в третьем полигоне

$$\varepsilon_{\beta_{13}} = K_3 - K_2,$$

а для угла во втором полигоне

$$\varepsilon_{\beta'_{13}} = K_2 - K_3.$$

6.3. Для углов при внешних узловых пунктах вероятнейшие поправки равны коррелате данного полигона минус половина коррелаты полигона смежного угла, так

$$\varepsilon_{\beta_{14}} = K_2 - \frac{K_1}{2}; \qquad \varepsilon_{\beta'_{14}} = K_1 - \frac{K_2}{2};$$

$$\varepsilon_{\beta_{16}} = K_3 - \frac{K_1}{2}; \qquad \varepsilon_{\beta''_{16}} = K_1 - \frac{K_3}{2}.$$

6.4. Вероятнейшие поправки к углам при внутренних узловых пунктах равны коррелате данного полигона минус половина коррелат полигонов, смежных с данным углом:

$$\varepsilon_{\beta_{12}} = K_3 - \frac{K_1}{2} - \frac{K_2}{2};$$

$$\varepsilon_{\beta'_{12}} = K_2 - \frac{K_1}{2} - \frac{K_3}{2};$$

$$\varepsilon_{\beta''_{12}} = K_1 - \frac{K_2}{2} - \frac{K_3}{2}.$$

7. Выполняют контроль правильности распределения невязок:

– сумма вероятнейших поправок к углам, измеренным за горизонт, должна быть равна нулю ($\varepsilon_{\beta_{12}} + \varepsilon_{\beta'_{12}} + \varepsilon_{\beta'_{12}} = 0$);

– сумма поправок к углам в полигоне должна быть равна угловой невязке соответствующего полигона с обратным знаком ($\sum\limits_1 \varepsilon_{\beta_i} = -f_{\beta_1}$, $\sum\limits_2 \varepsilon_{\beta_i} = -f_{\beta_2}$, $\sum\limits_3 \varepsilon_{\beta_i} = -f_{\beta_3}$).

Вероятнейшие поправки округляют до целых секунд, учитывая условия контроля.

8. Вычисляют исправленное значение углов по формуле

$$\beta_i^{\circ} = \beta_i + \varepsilon_{\beta_i}. \qquad (53)$$

4.2. Распределение линейных невязок

1. По дирекционному углу исходной стороны α_{13-R_2} и исправленным углам хода β_i° вычисляют дирекционные углы всех сторон системы полигонов.

Примечание: Вычисление дирекционных углов сторон α_i, а также приращений координат Δx_i и Δy_i во всех уравниваемых полигонах следует производить в одном направлении – по часовой стрелке или против (рис. 4).

2. Вычисляют:

– приращения координат $\Delta x_i = l_i \cos\alpha_i$, $\Delta y_i = l_i \sin\alpha_i$;

– невязки приращений координат $f_{x_i} = \sum\limits_i \Delta x$, $f_{y_i} = \sum\limits_i \Delta y$;

– относительные линейные невязки полигонов $f_{\text{отн}_i} = \dfrac{\sqrt{f_{x_i}^2 + f_{y_i}^2}}{[l]_i}$,

где $[l]_i$ – периметр хода.

Относительная линейная невязка полигона не должна превышать допустимую

$$f_{\text{отн}} \le \frac{1}{3000}\ . \qquad (54)$$

3. Составляют систему нормальных уравнений (отдельно по осям *X* и *Y*), учитывая правило

– квадратичные члены нормальных уравнений равны периметру сторон в соответствующем полигоне ($[l]_{\text{I}}, [l]_{\text{II}}, [l]_{\text{III}}$);

– остальные члены нормальных уравнений имеют знак минус и равны сумме длин сторон на внутренних участках между соответствующими полигонами ($[l]_{1,2}$, $[l]_{1,3}$, $[l]_{2,3}$);

– свободные члены нормальных уравнений равны линейным невязкам соответствующих полигонов ($f_{x_1}; f_{x_2}; f_{x_3}$ или $f_{y_1}; f_{y_2}; f_{y_3}$) в миллиметрах.

Пример системы нормальных уравнений в общем виде для уравнивания приращений по оси *X*:

$$\begin{aligned} [l]_{\text{I}} K_1 - [l]_{1,2} K_2 - [l]_{1,3} K_3 + f_{x_1} &= 0. \\ -[l]_{1,2} K_1 + [l]_{\text{II}} K_2 - [l]_{2,3} K_3 + f_{x_2} &= 0. \\ -[l]_{1,3} K_1 - [l]_{2,3} K_2 + [l]_{\text{III}} K_3 + f_{x_3} &= 0. \end{aligned} \qquad (55)$$

4. Вычисляют коррелаты. Размерность коррелат – мм/м.

5. Выполняют вычисление поправок к приращениям координат:

5.1. Вероятнейшие поправки $\varepsilon_{\Delta x_j}$ к приращениям координат для сторон <u>на внешних участках</u> полигонов

$$\varepsilon_{\Delta x_j} = l_j K_i, \text{ мм} \qquad (56)$$

где K_i – коррелата полигона ($i = 1, 2, 3$); j – номер стороны l в полигоне i; l – длина стороны полигона, м.

5.2. Вероятнейшие поправки к приращениям координат на внутренних участках полигонов равны произведению длины стороны на разность коррелат данного полигона и смежного с ним, определяются по формулам:

для *первого* полигона

$$\varepsilon_{\Delta x_j} = l_j \left(K_1 - K_2\right), \tag{57}$$

для *второго* полигона

$$\varepsilon_{\Delta x_j} = l_j \left(K_2 - K_1\right). \tag{58}$$

Аналогично поправки $\varepsilon_{\Delta x_j}$ определяют и для других внутренних участков.

6. Выполняют контроль правильности распределения невязок: для каждого замкнутого полигона сумма вероятнейших поправок должна быть равна невязке с обратным знаком:

$$\sum_i \varepsilon_{\Delta x_j} = -f_{x_i}. \tag{59}$$

7. Аналогичным образом (пункты 3–6) производят распределение невязок по оси ординат (f_{y_1}; f_{y_2}; f_{y_3}).

8. Вычисляют уравненные значения приращений координат

$$\begin{aligned} \Delta \overset{o}{x}_j &= \Delta x_j + \varepsilon_{\Delta x_j}, \\ \Delta \overset{o}{y}_j &= \Delta y_j + \varepsilon_{\Delta y_j}. \end{aligned} \tag{60}$$

9. Вычисляют уравненные значения координат вершин полигонов

$$\begin{aligned} X_{i+1} &= X_i + \Delta \overset{o}{x}_j, \\ Y_{i+1} &= y_i + \Delta \overset{o}{y}_j. \end{aligned} \tag{61}$$

10. Оценка точности измерения углов и длин сторон по результатам уравнения:

10.1. Погрешность измерения углов

$$m_{\beta}^{o} = \sqrt{\frac{\left[\varepsilon_{\beta_i} \varepsilon_{\beta_i}\right]}{r}}; \qquad (62)$$

где r – количество уравниваемых полигонов.

10.2. Погрешность измерения длин сторон

$$\begin{aligned} m_{\Delta x_j}^{o} &= \mu_{\Delta x}^{o} \sqrt{l_j}, \\ m_{\Delta y_j}^{o} &= \mu_{\Delta y}^{o} \sqrt{l_j}, \end{aligned} \qquad (63)$$

где $\mu_{\Delta x}^{o}$, $\mu_{\Delta y}^{o}$ – средние квадратические погрешности приращения координат на один метр длины (м$^{1/2}$).

$$\mu_{\Delta x}^{o} \sqrt{\frac{\left[\frac{\varepsilon_{\Delta x_j}^{2}}{l_j}\right]}{r}}, \qquad \mu_{\Delta y}^{o} \sqrt{\frac{\left[\frac{\varepsilon_{\Delta y_j}^{2}}{l_j}\right]}{r}}, \qquad (64)$$

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Контрольные задания для текущего контроля теоретических знаний студента в виде письменного опроса

Контрольные задания на 5 контрольной неделе
Норма для защиты – 20 баллов (30 минут)

1. Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла обусловленная:

а) неточным центрированием теодолита – 3 балла;

б) неточным центрированием сигналов – 2 балла;

в) общая погрешность измерения угла – 5 баллов.

2. Формулы определения инструментальной погрешности:

а) при измерении угла способом повторений – 2 балла;

б) при измерении угла способом приемов – 2 балла.

3. Определение по материалам производственных съемок шахт:

а) общей погрешности измерения горизонтального угла по невязкам замкнутых полигонов 3 балла;

б) общей погрешности измерения горизонтального угла по невязкам за горизонт, углов измеренных с повторным центрированием теодолита и сигналов – 3 балла;

в) погрешности собственно измерения угла по невязкам за горизонт углов, измеренных без изменения центрирования теодолита и сигналов – 2 балла.

4. Формула определения погрешности измерения вертикального угла – 2 балла;

5. Средняя квадратическая погрешность измерения длин линий:

а) формула закона накопления случайных погрешностей – 1 балл;

б) формула закона накопления систематических погрешностей – 1 балл;

6. Формула определения коэффициента случайного влияния по разностям двойных независимых измерений длин линий – 3 балла.

Контрольные задания на 9 контрольной неделе
Норма для защиты – 30 баллов (30 минут)

1. Средняя квадратическая погрешность абсциссы (ординаты) конечного пункта свободного полигонометрического хода, обусловленная погрешностями:

а) измерения горизонтальных углов – 3 балла;

б) измерения длин сторон хода – 3 балла;

в) дирекционного угла исходной стороны –2 балла.

2. Средняя квадратическая погрешность дирекционного угла любой стороны свободного полигонометрического хода, обусловленная погрешностями измерения горизонтальных углов – 2 балла.

3. Средняя квадратическая погрешность абсциссы (ординаты) любого пункта разомкнутого полигонометрического хода, вычисленного по предварительно уравненным углам – 4 балла.

4. Средняя квадратическая погрешность конечного репера нивелирного хода:

а) при геометрическом нивелировании – 3 балла;

б) при тригонометрическом нивелировании – 4 балла.

Контрольные задания на 13 контрольной неделе
Норма для защиты – 30 баллов (30 минут)

1. Средняя квадратическая погрешность абсциссы (ординаты) конечной пункта многократно ориентированного полигонометрического хода, вычисленного по предварительно уравненным углам, обусловленная погрешностями:

а) определения дирекционных углов гиросторон – 3 балла;

б) измерения горизонтальных углов хода – 4 балла;

в) определения длин сторон, измеренных рулеткой, – 3 балла;

г) определения длин сторон, измеренных дальномером, – 3 балла;

д) порядок построения расчетного полигона – 4 балла.

2. Средняя квадратическая погрешность абсциссы (ординаты) конечной точки многократно ориентированного полигонометрического хода, вычисленного по измеренным углам, обусловленная погрешностями:

а) определения дирекционных углов гиросторон – 3 балла;

б) измерения горизонтальных углов хода – 4 балла;

в) определения длин сторон, измеренных рулеткой, – 3 балла;

г) определения длин сторон, измеренных дальномером, – 3 балла;

д) порядок построения расчетного полигона – 4 балла.

3. Средняя квадратическая погрешностьположения конечной точки многократно ориентированного полигонометрического хода, вычисленного по уравненным углам – 4 балла.

Контрольные задания на 17 контрольной неделе
Норма для защиты – 20 баллов (30 минут)

Для системы полигонометрических ходов (рис.) при строгом способе их уравнивания определить:

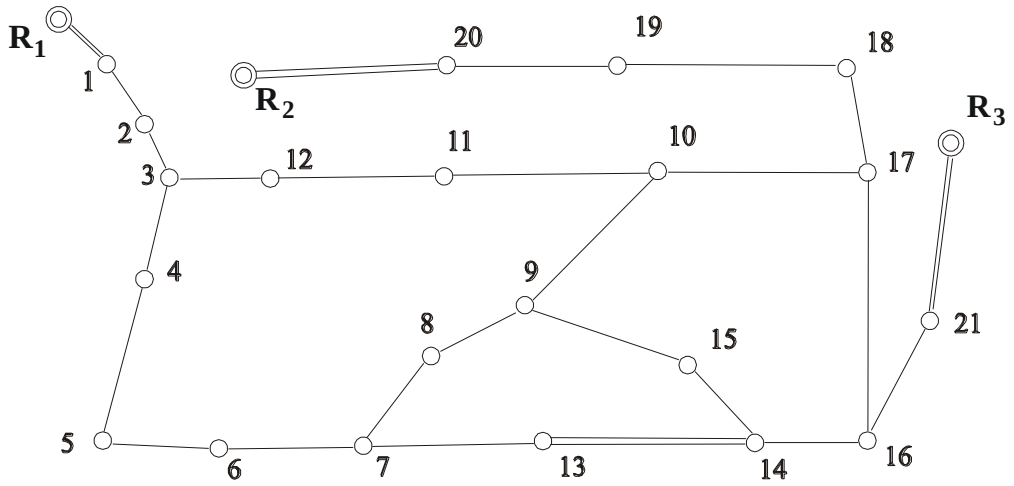

Рис. Схема подземных полигонометрических ходов

– общее количество условных (нормальных) уравнений – 3 балла;

– виды уравнений невязок и их количество – 7 баллов.

2. Для указанной схемы замкнутых полигонометрических ходов (рис.) при уравнивании их раздельным способом написать:

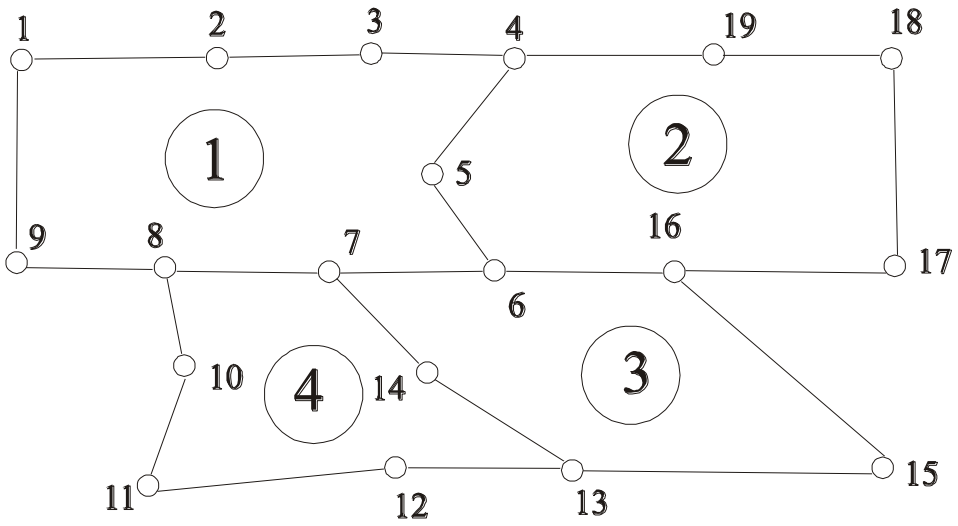

Рис. Схема подземных полигонометрических ходов

– систему нормальных уравнений при распределении угловых невязок – 3 балла;

– систему нормальных уравнений при распределении линейных невязок – 3 балла;

– формулу вычисления вероятнейших поправок к углам (с номером угла):

а) на внешних участках полигонов – 1 балл;

б) на внутренних участках полигонов – 1 балл;

в) при внешних узловых точках – 1 балл;

г) при внутренних узловых точках – 1 балл;

д) контроль правильности распределения невязок;

– формулу вычисления вероятнейших поправок к приращениям координат (с названием стороны):

а) на внешних участках полигонов – 1 балл;

б) на внутренних участках полигонов – 1 балл.

5.2. Контрольные вопросы для защиты отчета по лабораторным работам

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 1

1. Способы определения средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла в предрасчетах и по результатам съемок.
2. Способы определения средней квадратической погрешности измерения собственно измерения угла в предрасчетах и по результатам съемок.
3. Способы определения средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла, обусловленной неточностью центрирования теодолита, в предрасчетах и по результатам съемок.
4. Способы определения средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла, обусловленной неточностью центрирования сигналов, в предрасчетах и по результатам съемок.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 2

1. Определение средней квадратической погрешности положения (и координат) пункта свободного полигонометрического хода, обусловленной неточностью измерения горизонтальных углов. Варианты снижения погрешности.
2. Определение средней квадратической погрешностей положения (и координат) пункта свободного полигонометрического хода, обусловленных неточностью измерения длин сторон и дирекционного угла. Варианты снижения погрешностей.
3. Составить схему свободного полигонометрического хода и записать формулы расчета средней квадратической погрешности положения (и координат) конечного пункта, если положение пунктов, на которых производились измерения, заданы координатами.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 3

1. Составить схему полигонометрического хода между гиросторонами и записать формулы расчета средней квадратической погрешности положения (и координат) конечного пункта, если положение пунктов, на которых производились измерения, заданы координатами.

2. Составить схему полигонометрических ходов из трех промежуточных секций и описать порядок расчета средней квадратической погрешности положения конечного пункта (по предварительно уравненным углам или по измеренным углам).

3. Составить схему полигонометрических ходов из трех промежуточных секций и описать порядок расчета средней квадратической погрешности положения конечного пункта в заданном направлении (по предварительно уравненным углам или по измеренным углам).

4. Варианты определения погрешности положения конечного репера по высоте в ходах геометрического нивелирования.

5. Варианты определения погрешности положения конечного пункта по высоте в ходах тригонометрического нивелирования.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 4

1. Уравнять разомкнутый полигонометрический ход из *n* сторон: (записать геометрическое условие, уравнения невязок, поправок, систему условных уравнений и определить поправки в измеренные величины). Ход состоит из 4 сторон, поправки получают горизонтальные углы и длины сторон.

2. Уравнять разомкнутый полигонометрический ход из *n* сторон: (записать геометрическое условие, уравнения невязок, поправок, систему условных уравнений и определить поправки в измеренные величины). Ход состоит из 3 сторон, поправки получают дирекционные углы, горизонтальные углы и длины сторон.

5.3. Примеры вопросов на зачет

1. Предрасчет погрешности сбойки с многократно ориентированными сторонами.
2. Порядок вычисления многократно ориентированного полигонометрического хода (вычисление по непосредственно измеренным углам).
3. Порядок вычисления многократно ориентированного полигонометрического хода (вычисление по исправленным горизонтальным углам за условие «твердых» дирекционных углов).
4. Определение коэффициента случайного влияния по невязкам замкнутых полигонов.
5. Инструментальная погрешность горизонтального угла, измеренного способом повторений.
6. Определение по невязкам замкнутых полигонов погрешности измерения горизонтального угла.
7. Оценка точности по результатам уравнивания сети подземной полигонометрии по способу полигонов.
8. Способы определения коэффициентов случайного и систематического влияния, их значения согласно «Инструкции…».
9. Предрасчет погрешности сбойки по одной из координатных осей.
10. Правило составления нормальных уравнений при распределении угловой невязки в сети полигонов и вычисление вероятнейших поправок к углам.
11. Способы уравнивания сетей подземных полигонометрических ходов.
12. Погрешность координат конечного пункта полигона, обусловленная погрешностью ориентирования подземных съемок.
13. Общая погрешность координат конечного пункта свободного полигона.
14. Погрешность положения конечного пункта свободного полигона в заданном направлении.
15. Ожидаемая погрешность, ее смысл и вычисление.
16. Допустимая погрешность конечного пункта полигонометрического хода.
17. Определение средней квадратической погрешности горизонтального угла по невязкам разомкнутых полигонов.

18. Погрешность координат пункта свободного полигона, обусловленная погрешностями измерения горизонтальных углов.

20. Формулы вычисления поправок к приращениям координат при уравнивании сети полигонов.

21. Основные требования «Инструкции…» к точности подземных маркшейдерских опорных сетей.

22. Основные требования «Инструкции…» к точности ориентирования и центрирования подземной полигонометрии.

23. Средняя квадратическая погрешность измерения вертикального угла в подземной полигонометрии.

24. Погрешность измерения горизонтального угла при способе приемов.

25. Погрешность измерения угла.

26.Способы определения погрешности собственно измерения угла.

27. Способы определения линейной погрешности центрирования теодолита.

28. Способы определения линейной погрешности центрирования сигналов.

29. Способы определения общей погрешности измерения горизонтального угла.

30. Закон накопления случайных погрешностей при измерении линий.

31. Закон накопления систематических погрешностей при измерении линий.

32. Способы определения коэффициентов случайного и систематического влияния при линейных измерениях.

33. Погрешность координат конечного пункта свободного полигона, обусловленная погрешностями измерения углов.

34. Погрешность координат конечного пункта свободного полигона, обусловленная случайными погрешностями измерения линий.

35. Погрешность координат конечного пункта свободного полигона, обусловленная систематическими погрешностями.

36. Погрешность координат конечного пункта свободного полигона, обусловленная погрешностью ориентирования исходной стороны.

37. Погрешность геометрического нивелирования.

38. Погрешность тригонометрического нивелирования.

39. Погрешность координат конечного пункта многократно ориентированного гироскопическим способом полигонометрического хода, вычисленного по исправленным углам.

40. Погрешность координат конечного пункта многократно ориентированного гироскопическим способом полигонометрического хода, вычисленного по непосредственно измеренным углам.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Маркшейдерская энциклопедия / гл. ред. Л. А. Пучков. – М.: Изд-во «Мир горной книги», 2006. – 605 с. http://www.biblioclub.ru/index.php?page=book&id=79276

2. Попов В. Н. Комментарии к инструкции по производству маркшейдерских работ: учеб. пособие / В. Н. Попов, В. Н. Сученко, С. В. Бойко. – Москва: МГГУ, 2007. – 272 с. http://www.biblioclub.ru/index.php?page=book&id=79290&razdel=257

3. Бахаева, С. П. Маркшейдерские работы при открытой разработке полезных ископаемых : учеб. пособие / Кузбасс. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2010. – 171 с.

Дополнительная литература

4. Маркшейдерия: учебник для вузов / под ред. М. Е. Певзнера, В. Н. Попова. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. – 419 с. http://www.biblioclub.ru/index.php?page=book&id=99342&razdel=257

5. Маркшейдерское дело. Ч. 2 / И. Н. Ушаков [и др.]. – М.: Недра, 1989. – 437 с.

6. Маркшейдерское дело / Д. Н. Оглоблин [и др.]. – М.: Недра, 1981. – 704 с.

7. Акулов, В. И. Расчет маркшейдерских съемок при гироскопическом ориентировании шахт / Кузбас. политехн. ин-т. – Кемерово, 1972. – 474 с.

8. Справочник по маркшейдерскому делу / под общ. ред. А. Н. Омельченко. – М.: Недра, 1979. – 576 с.

9. Жариков, Е. Д. Новые технологии ведения подземных маркшейдерских работ / Е. Д. Жариков [и др.]. – М. : Недра, 1992. –32 с.

Нормативно-методическая литература

10. Инструкция по производству маркшейдерских работ / Министерство угольной промышленности СССР, ВНИМИ. – М.: Недра, 1987. – 240 с.

11. Методические указания по построению и обработке подземных маркшейдерских опорных сетей. – Л.: ВНИМИ, 1975. – 125 с.

12. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03) / Кол. авт. – М.: ФГУП Государственное предприятие НТЦ по безопасности в промышленности ГГТН России, 2004. – 120 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…… 2
ЦЕЛЬ, ФОРМЫ И КОНТРОЛЬ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ 3
СОДЕРЖАНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ..... 4
1. Методические рекомендации для выполнения анализа точности угловых и линейных измерений по результатам производственных съемок…….. 6
1.1. Вычисление средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла m_β ……. 6
1.2 Вычисление коэффициента случайного влияния μ при измерении длин сторон…… 7
2. Методические рекомендации для определения погрешностей положения пункта свободного полигона в плане и по высоте…… 9
2.1. Погрешность положения пункта хода в плане…… 9
2.2. Погрешность конечного пункта хода по высоте…… 16
3. Методические рекомендации по определению погрешности положения пункта полигонометрического хода, многократно ориентированного гироскопическим способом…… 17
4. Методические рекомендации по уравниванию сети подземных полигонометрических ходов по способу полигонов..……... 24
4.1. Распределение угловых невязок…….. 24
4.2. Распределение линейных невязок…… 28
5. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины…… 32
5.1. Контрольные задания для текущего контроля теоретических знаний студента в виде письменного опроса……. 32
5.2. Контрольные вопросы для защиты отчета по лабораторным работам…….. 36
5.3. Примеры вопросов на зачет…….. 38
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ……... 40