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

Г. С. Головко, Т. Б. Рогова

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Программа, методические указания и контрольные задания
для студентов специальности 130402 «Маркшейдерское дело»
заочной формы обучения

Рекомендовано в качестве методических указаний
по самостоятельной работе
учебно-методической комиссией специальности
130402 «Маркшейдерское дело»

КЕМЕРОВО 2012

УДК 622.1

Рецензенты:

Шаклеин С. В – д. т. н., профессор кафедры маркшейдерского дела, кадастра и геодезии

Игнатов Ю. М. – к. т. н., председатель учебно-методической комиссии специальности 130402 «Маркшейдерское дело», направления 130400 «Горное дело»

Головко Галина Сергеевна, Рогова Тамара Борисовна. Анализ точности маркшейдерских измерений : Программа, методические указания и контрольные задания [Электронный ресурс] : для студентов специальности 130402 «Маркшейдерское дело» заочной формы обучения / Т. Б. Рогова. – Электрон. дан. – Кемерово : ГУ КузГТУ, 2011. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : зв. ; цв. ; 12 см. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 8 Мб ; Windows 2003 ; (CD-ROM-дисковод) ; мышь. – Загл. с экрана.

В работе приведена программа дисциплины, дана литература, помогающая освоить материал. Приведены задания для выполнения контрольной работы и методические рекомендации, включающие алгоритм выполнения заданий, необходимые пояснения, рабочие формулы.

© ГУ КузГТУ, 2012

© Головко Г. С.,
Рогова Т. Б., 2012

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Анализ точности маркшейдерских измерений» изучается студентами специальности «Маркшейдерское дело» заочной формы обучения в восьмом семестре.

В процессе обучения студент должен научиться производить оценку точности угловых и линейных измерений в подземных маркшейдерских сетях; уметь производить расчет погрешности положения любого пункта подземной полигонометрии в плане (в любом заданном направлении) и по высоте в зависимости от погрешностей измерения углов, длин линий и ориентирования сети; уметь устанавливать методику измерений для выполнения различного рода маркшейдерских работ с заданным производственным допуском; обосновывать выбор необходимых инструментов; производить объективную оценку точности выполненных работ; усвоить способы и приемы уравнивания подземных полигонометрических и нивелирных сетей.

Самостоятельное изучение дисциплины предусматривает работу студента с учебниками и выполнение контрольных заданий по основным темам. Занятия с преподавателем включают обзорные лекции, групповые лабораторные занятия.

В процессе изучения дисциплины выполняется контрольная работа, состоящая из двух заданий.

Задания контрольной работы выполняются индивидуально согласно номеру варианта, который назначается преподавателем.

Студенты, получившие положительные рецензии на контрольную работу и выполненные лабораторные работы, допускаются к сдаче экзамена.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Маркшейдерия : учеб. для вузов / под ред. М. Е. Певзнера, В. Н. Попова. – М. : Изд-во МГГУ, 2003. – 419 с.

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

3. 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.

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

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

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

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

8. Папазов, М. Г. Теория ошибок и способ наименьших квадратов / М. Г. Папазов, С. Г. Могильный. – М.: Недра, 1968. – 302 с.

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

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

11. Жариков, Е. Д. Новые технологии ведения подземных маркшейдерских работ / Е. Д. Жариков [и др.]. – М. : Недра, 1992. –302 с.

12. Попов, В. Н. Комментарии и инструкции по производству маркшейдерских работ / В. Н. Попов [и др.]. – М. : МГГУ. – 2011. – 270 с.

ПРОГРАММА КУРСА

Введение. Теоретические и методологические основы анализа точности маркшейдерских съемок.

1. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ В ПОДЗЕНОЙ ПОЛИГОНОМЕТРИИ

Погрешности измерения горизонтального угла. Погрешность измерения угла от неточного центрирования теодолита. Погрешность измерения угла от неточного центрирования сигналов.

Погрешность отсчитывания и визирования. Сравнения способов измерений горизонтального угла. Определение погрешности горизонтального угла, погрешностей центрирования теодолита и сигналов по результатам съемок. Погрешности измерений вертикального угла.

2. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПОДЗЕНОЙ ПОЛИГОНОМЕТРИИ

Источники погрешностей при измерении длин линий. Коэффициенты случайного и систематического влияния и методы их определения. Закон накопления погрешностей при измерении длин линий. Определение коэффициента случайного влияния по результатам съемок. Погрешность измерения длины дальномерами. Относительная погрешность.

3. НАКОПЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ПОДЗЕМНЫХ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДАХ

Погрешности координат пунктов свободного хода в зависимости от погрешностей измерения горизонтальных углов, длин сторон и ориентирования хода. Погрешности пункта свободного полигона в заданном направлении. Погрешности координат пунктов в несвободных ходах.

4. НАКОПЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ В НИВЕЛИРНЫХ ХОДАХ

Накопление погрешностей в нивелирных ходах. Погрешности геометрического и тригонометрического нивелирования. Формулы погрешности. Сопоставление точности. Определение погрешностей нивелирования через допустимые.

5. НАКОПЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ПОДЗЕМНОЙ ПОЛИГОНОМЕТРИИ, МНОГОКРАТНО ОРИЕНТИРОВАННОЙ ГИРОСКОПИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Преимущества гироскопического ориентирования. Установление числа гиросторон подземной полигонометрии.

Погрешности координат и положения пунктов хода многократно ориентированного гироскопическим способом.

5. УРАВНИВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ПОЛИГОНОМЕТРИИ

Теоретические основы и способы уравнивания. Сущность строгого способа уравнивания. Упрощенное уравнивание подземных полигонометрических ходов. Уравнивание нивелирных ходов.

6. ПРЕДРАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Погрешности ориентирно-соединительных съемок. Предрасчет сбоек. Проект построения подземной опорной маркшейдерской сети.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

ЗАДАНИЕ № 1

Анализ точности угловых и линейных измерений по результатам производственных съемок

1. Цель работы

Научиться производить оценку фактической точности угловых и линейных измерений в подземных опорных маркшейдерских сетях.

2. Исходные данные.

2.1. Количество замкнутых полигонометрических ходов и длин сторон в выборке (прил. 1, табл. П.1.1).

2.2. Таблица случайных чисел для выбора номеров полигонометрических ходов и длин сторон (прил. 1, табл. П.1.2).

2.3. Основные параметры замкнутых полигонов (табл. П1.3).

2.4. Результаты двойных независимых измерений длин сторон в подземных полигонометрических ходах (табл. П1.4).

3. Содержание работы.

3.1. В соответствии с назначенным вариантом из табл. П1.2 произвести выборку случайных чисел, количество которых (N) определяется согласно варианту по табл. П.1.1.

3.2. Из табл. П1.3 выписать основные параметры замкнутых полигонов, номера которых определяются случайными числами.

3.3. Из табл. П1.4 выписать результаты двойных независимых измерений длин сторон в количестве, указанном в табл. П1.1. Номера сторон определяются случайными числами (пункт 3.1).

3.4. Определить среднюю квадратическую погрешность измерения горизонтального угла:

– для каждого замкнутого полигона установить допустимую угловую невязку, рекомендуемую «Инструкцией…» [1], и сравнить ее с фактической угловой невязкой;

– скорректировать данный ряд угловых невязок;

– по основной и контрольной формулам установить среднюю квадратическую погрешность измерения горизонтального угла для исследуемого ряда полигонов и сравнить с требованиями «Инструкции…» [1].

3.5. Определить коэффициент случайного влияния при измерении линий:

– определить разности между прямыми и обратными измерениями длин сторон и сравнить их с допустимыми «Инструкцией…» [1];

– скорректировать данный ряд измерений, исходя из допустимой разности двойных измерений;

– по основной и контрольной формулам вычислить коэффициент случайного влияния;

– сравнить коэффициент случайного влияния с рекомендуемым «Инструкцией…» [1].

3.6. Дать оценку точности угловых и линейных измерений в исследуемых полигонометрических ходах.

ЗАДАНИЕ № 2

Определение погрешностей положения пункта свободного полигона в плане и по высоте

1. Цель работы.

Научиться устанавливать погрешность положения любого пункта свободного полигонометрического хода в заданном направлении.

2. Исходные данные.

Схемы околоствольных выработок (прил. 2, табл. П2.1).

3. Содержание работы.

3.1. Составить в масштабе 1:1000 схему околоствольных выработок и наметить вершины проектного свободного полигонометрического хода.

3.2. Принять для прокладки полигонометрического хода необходимые инструменты, привести их краткие технические характеристики.

3.3. Согласно «Инструкции…» [1] установить методику измерения углов и длин сторон в проектном полигонометрическом ходе.

3.4. Установить для выбранного теодолита и принятой методики измерений погрешность собственно измерения угла.

3.5. Обосновать способ центрирования теодолита и сигналов и принять значение линейных погрешностей центрирования теодолита и сигналов.

3.6. Вычислить для каждого горизонтального угла среднюю квадратическую погрешность измерения.

3.7. Рассчитать графоаналитическим или аналитическим способом относительно исходных маркшейдерских пунктов на поверхности погрешность положения в плане конечного пункта проектного свободного полигона вдоль и перпендикулярно оси выработки в зависимости от:

– погрешностей измерения углов;

– погрешностей измерения длин сторон;

– погрешности ориентирования исходной стороны хода.

3.8. Установить общую линейную погрешность конечного пункта хода, обусловленную погрешностями измерения углов, длин сторон и ориентирования хода.

3.9. Установить ожидаемую погрешность положения конечного пункта хода и сравнить с допустимой погрешностью по «Инструкции…» [1].

3.10. Установить, как изменится погрешности положения конечного пункта хода при гироскопическом ориентировании его последней стороны.

3.11. В соответствии с «Инструкцией…» [1] установить методику геометрического нивелирования по трассе проектного полигонометрического хода.

3.12. Рассчитать среднюю квадратическую погрешность положения конечного пункта хода по высоте, относительно подземного исходного репера.

3.13. Определить ожидаемую погрешность двойного нивелирного хода и сравнить ее с допустимой по Инструкции [1].

3.14. Установить погрешность передачи высотной отметки с поверхности на горизонт.

3.15. Установить погрешность положения по высоте конечного пункта проектного полигонометрического хода относительно исходного репера на поверхности.

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

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

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 ошибки 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

$$d_i = l_{i_п} - l_{i_о}, \text{ м.} \quad (4)$$

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

$$d_{i_д} = \frac{1}{3000} l_i, \quad (5)$$

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

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

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

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

7. Вычисляются двойные разности, свободные от систематической погрешности

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

и коэффициент случайного влияния μ

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

Таблица 2

Расчет коэффициента случайного влияния μ
при измерении длин линий

№ пп	Номер стороны	Длина стороны, м		d, м	$d_{доп}$, м	dd	$\frac{dd}{l}$	d°	$d^{\circ}d^{\circ}$
		$l_п$	$l_о$						
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

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

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

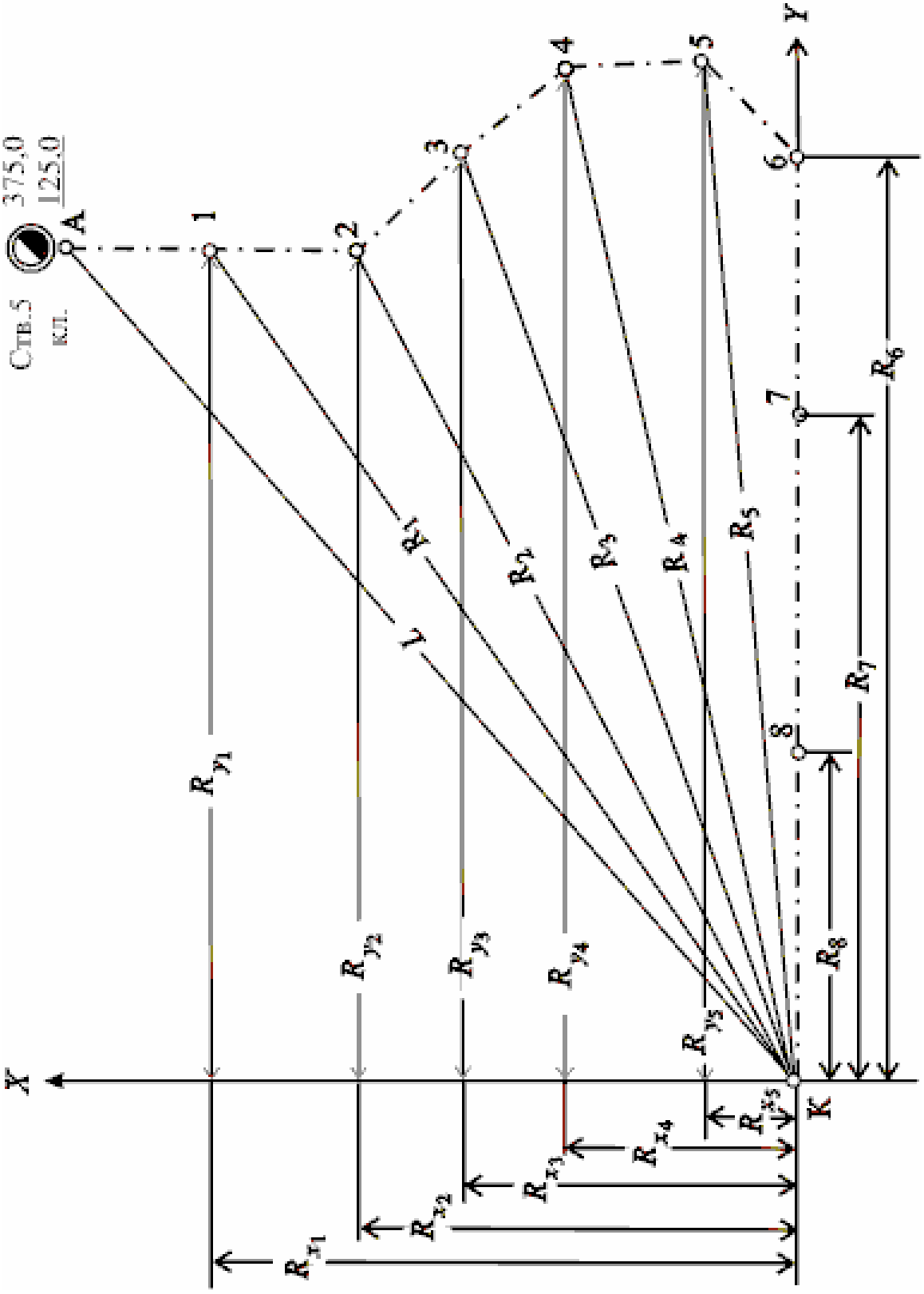


Рис. 1. Схема полигонометрического хода

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 пункти, 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

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

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

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

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

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

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

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

– при измерении углов способом приемов

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

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

Погрешности m_v и $m_о$ определяют по формулам

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

$$m_о = \frac{t}{2}, \qquad (21)$$

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. 5).

Таблица 5

Расчет погрешности измерения углов

Вершина	Длина стороны l, м		Угол β, град	m_o, с	m_v, с	m_i, с	$e_т$, м	$e_с$, м	m_{β_i}, с
	a	b							
1									
2									
…									
…									
$k-1$									

Таблица 6

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. 6).

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. 7).

Таблица 7

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

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

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

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

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

$$m_{\text{ож}} = 3m_{S_K}. \tag{29}$$

Ожидаемая погрешность $m_{\text{ож}}$ 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 пункта хода по высоте.

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

$$m_{h_K}^2 = m_Z^2 + m_{\text{гн}}^2 , \tag{30}$$

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

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

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

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

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

$$l_{\text{о}} = \frac{\sum l}{2n} , \tag{33}$$

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.

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

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

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

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Исходные данные к заданию № 1

Таблица П1.1

Количество полигонометрических ходов и длин сторон в выборке

Вариант	Количество случайных чисел *N*	Вариант	Количество случайных чисел *N*
1	55	11	54
2	50	12	50
3	45	13	57
4	50	14	56
5	58	15	55
6	48	16	47
7	47	17	51
8	46	18	44
9	54	19	47
10	53	20	52

Правила выборки случайных чисел

1.1. Таблица случайных чисел состоит из строк: 0, 1, 2 и вертикальных колонок: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

1.2. Номер варианта представлен двухзначным числом, например: 01, 02, 11, 12 и т. д. Первая цифра варианта соответствует номеру строки таблицы, а вторая – номеру вертикальной колонки.

1.4. Случайная выборка начинается с числа, стоящего на пересечении горизонтальной строки с вертикальной колонкой.

Для четных вариантов берется случайное число, состоящее из первых трех цифр, а для нечетных – из трех последних цифр.

1.5. Выборка случайных чисел начинается с первого случайного числа (пункт 1.4), производится по вертикальной колонке с опусканием вниз.

1.6. При окончании вертикальной колонки выборка случайных чисел производится в следующей вертикальной колонке, начиная с нулевой горизонтальной строки.

Если число превышает 356, то в нем исключается последняя цифра. Например, 733 – 73, 689 – 89.

1.7. По выбранным *N* случайным числам из табл. П1.3 и П1.4 выписывают результаты измерений. При этом номер измерения соответствует случайному числу.

Таблица П1.2

Таблица случайных чисел

Строка	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	28385	46250	45818	76086	73345	33690	12006	89489	82548	25154
	32103	28366	96748	97570	12783	61708	44407	62721	70353	26277
	31227	16074	45732	26292	54095	36074	68015	91319	16433	18366
	27069	98951	91542	27120	29373	56365	09053	36524	25789	46410
	13028	54686	78115	11851	96006	83288	63698	90567	82795	19190
	25323	28367	49336	45915	25019	19748	59735	38219	49232	10148
	02473	64742	94731	65421	65952	36708	24299	45132	92481	44499
1	25906	66400	31912	77234	77311	36428	85178	70368	31546	25881
	18187	66808	21330	23430	93999	42829	18331	96411	21303	36397
	13830	49703	12133	11171	14363	78388	21440	53420	31554	63349
	10518	48680	87871	78118	88178	19268	73248	81305	07701	19415
	85445	18606	40057	26616	25825	14078	90001	88221	56944	92014
	19323	18011	62325	48154	15821	75825	16401	20301	70654	46231
	10514	36580	21041	33802	53561	42705	14426	12088	90910	86701
2	55961	12790	66413	32462	27047	45703	49315	63916	59272	37804
	25560	95580	28834	43767	15735	63509	19795	24528	56275	19077
	37295	07771	31100	23449	30044	35964	55927	28935	99538	20821
	20270	11113	79904	89595	22767	98225	46074	42975	90799	44421
	13878	27161	62190	10588	79130	89935	68353	68290	92188	25552
	56656	74058	79714	33580	49320	66414	96439	23550	65926	85223
	73133	90578	35308	70756	30830	47202	12523	21637	51827	14084

Таблица П1.3

Основные параметры полигонометрических ходов шахт Кузбасса

Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с	Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с	Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с
1	15	53	20	12	50	39	13	87
2	7	29	21	24	211	40	9	31
3	7	27	22	13	18	41	7	8
4	18	178	23	43	77	42	7	12
5	8	20	24	22	32	43	12	15
6	23	243	25	16	46	44	31	162
7	16	145	26	13	35	45	18	33
8	9	41	27	22	46	46	11	38
9	38	163	28	12	88	47	21	22
10	6	51	29	10	33	48	33	79
11	17	120	30	38	165	49	20	21
12	17	130	31	11	56	50	32	23
13	5	61	32	11	39	51	40	43
14	21	45	33	8	78	52	19	11
15	13	101	34	21	61	53	18	28
16	13	15	35	19	27	54	22	22
17	10	46	36	13	73	55	11	38
18	12	108	37	13	29	56	14	32
19	27	176	38	16	46	57	19	55

Продолжение табл. П1.3

Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с	Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с	Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с
58	9	72	78	16	129	98	26	70
59	53	21	79	14	133	99	15	23
60	35	181	80	6	29	100	14	67
61	37	193	81	11	21	101	22	108
62	24	26	82	13	25	102	38	124
63	20	145	83	18	36	103	22	73
64	16	19	84	26	71	104	30	126
65	42	230	85	19	142	105	30	224
66	40	32	86	16	55	106	32	117
67	20	60	87	11	62	107	15	138
68	35	259	88	44	95	108	14	78
69	19	35	89	8	104	109	12	30
70	33	14	90	16	52	110	8	20
71	11	26	91	18	106	111	9	22
72	14	109	92	17	4	112	34	24
73	11	68	93	12	34	113	13	75
74	8	3	94	7	20	114	15	59
75	8	17	95	14	53	115	32	130
76	28	4	96	22	38	116	16	80
77	13	1	97	54	61	117	10	30

Продолжение табл. П1.3

Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с	Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с	Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с
118	26	17	138	58	238	158	12	38
119	32	49	139	22	12	159	11	33
120	24	80	140	26	99	160	28	64
121	19	26	441	18	53	161	18	166
122	6	26	142	29	7	162	35	123
123	15	87	143	15	38	163	18	75
124	36	296	144	16	106	164	21	139
125	24	46	145	10	21	165	30	39
126	18	40	146	33	132	166	25	194
127	15	128	147	34	213	167	23	51
128	10	105	148	35	26	168	11	20
129	32	150	149	18	40	169	22	49
130	28	97	150	25	175	170	14	112
131	87	23	151	13	15	171	24	150
132	56	131	152	14	90	172	24	71
133	32	45	153	21	133	173	24	349
134	37	133	154	24	26	174	23	160
135	10	81	155	18	170	175	24	37
135	26	113	156	24	55	176	23	25
137	18	14	157	26	31	177	24	68

Продолжение табл. П1.3

Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с	Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с	Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с
178	39	141	198	31	116	218	30	196
179	12	119	199	44	170	219	23	243
180	50	63	200	12	103	220	25	203
181	49	135	201	7	54	221	48	168
182	10	28	202	7	11	222	26	23
183	23	120	203	12	24	223	25	36
184	22	139	204	25	37	224	12	72
185	13	13	205	7	24	225	10	126
186	7	60	206	15	40	226	28	72
187	16	49	207	11	74	227	17	24
188	30	10	208	14	38	228	9	91
189	32	100	209	11	16	229	13	44
190	33	212	210	8	15	230	32	133
191	9	60	211	15	86	231	26	156
192	11	33	212	24	99	232	16	125
193	17	73	213	10	71	233	9	88
194	16	93	214	6	41	234	17	165
195	34	18	215	13	78	235	14	98
196	40	228	216	17	97	236	12	150
197	24	42	217	38	241	237	22	182

Продолжение табл. П1.3

Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с	Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с	Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с
238	10	89	258	24	78	278	36	91
239	21	38	259	11	69	279	20	72
240	38	178	260	27	108	280	12	151
241	41	125	261	33	219	281	16	188
242	21	210	262	27	49	282	24	158
243	27	23	263	27	118	283	34	64
244	14	52	264	22	71	284	9	11
245	27	122	265	38	53	285	11	17
246	25	122	266	14	132	286	23	11
247	27	52	267	19	86	287	27	30
248	7	30	268	29	120	288	14	94
249	33	19	269	11	56	289	19	34
250	15	45	270	23	130	290	13	16
251	23	33	271	25	132	291	14	101
252	34	18	272	13	26	292	19	182
253	16	56	273	20	187	293	16	31
254	23	60	274	13	31	294	23	24
255	18	30	275	25	32	295	19	20
256	26	23	276	34	132	296	27	57
257	29	90	277	37	66	297	16	36

Продолжение табл. П1.3

Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с	Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с	Номер полигона	Число сторон n	Угловая невязка f_β, с
298	13	60	318	31	194	338	14	11
299	22	10	319	20	209	339	19	16
300	21	50	320	11	136	340	17	115
301	16	16	321	28	87	341	100	348
302	10	45	322	10	53	342	75	365
303	22	52	323	13	43	343	34	63
304	16	31	324	24	61	344	44	234
305	24	120	325	49	233	345	34	68
306	20	14	326	10	135	346	38	72
307	16	135	327	20	29	347	57	31
308	32	147	328	6	21	348	23	114
309	20	68	329	14	140	349	14	101
310	46	75	330	48	79	350	55	130
311	15	18	331	22	10	351	40	178
312	48	94	332	18	49	352	11	29
313	52	116	333	21	93	353	37	36
314	84	99	334	25	21	354	14	34
315	10	22	335	26	236	355	14	75
316	37	39	336	21	67	356	15	41
317	53	16	337	13	40	357	30	228

Таблица П1.4

Результаты двойных независимых измерений длин сторон в подземных полигонометрических ходах шахт Кузбасса

№ пп	Длина, м		№ пп	Длина, м		№ пп	Длина, м	
	прямо	обратно		прямо	обратно		прямо	обратно
1	41,630	41,620	34	41,631	41,643	67	43,703	43,697
2	43,652	43,641	35	35,373	35,365	68	60,667	60,661
3	23,882	23,887	36	19,285	19,286	69	36,211	36,209
4	26,792	26,794	37	30,537	30,54	70	18,216	18,218
5	19,559	19,558	38	29,762	29,768	71	23,219	23,221
6	23,144	23,143	39	18,964	18,963	72	18,001	18,005
7	27,440	27,448	40	17,543	17,544	73	44,033	44,026
8	37,069	37,071	41	23,415	23,418	74	87,708	87,717
9	29,202	29,190	42	26,458	26,454	75	30,025	30,021
10	37,524	27,505	43	38,180	38,17	76	54,146	54,144
11	24,830	24,837	44	26,902	26,904	77	35,180	35,179
12	33,202	33,197	45	21,980	21,927	78	37,391	37,387
13	18,957	18,952	46	19,722	19,717	79	33,351	33,35
14	19,506	19,508	47	43,700	43,703	80	29,716	29,719
15	20,467	20,468	48	60,662	60,665	81	56,914	56,912
16	40,693	40,697	49	43,437	43,441	82	38,885	38,883
17	26,216	26,218	50	18,073	18,073	83	25,608	25,602
18	42,582	42,570	51	36,318	36,31	84	36,126	36,129
19	31,498	31,489	52	34,541	34,542	85	38,369	38,373
20	24,078	24,072	53	46,812	46,812	86	28,770	28,774
21	22,45	22,454	54	54,963	54,961	87	29,301	29,304
22	36,514	36,507	55	67,427	67,429	88	43,155	43,161
23	21,787	21,788	56	34,566	34,555	89	35,487	25,486
24	24,998	24,995	57	50,123	50,124	90	30,484	30,488
25	37,45	37,339	58	38,685	38,685	91	27,501	27,500
26	27,47	27,468	59	30,423	30,42	92	37,659	37,662
27	34,08	34,09	60	39,405	39,405	93	53,440	53,438
28	46,811	46,802	61	42,249	42,242	94	98,962	98,972
29	29,042	29,046	62	42,058	42,055	95	101,255	101,239
30	31,707	31,717	63	44,465	44,457	96	49,463	49,467
31	38,14	38,149	64	37,249	37,252	97	19,991	19,991
32	27,586	27,577	65	23,320	23,318	98	37,659	37,661
33	35,443	35,453	66	19,717	19,722	99	27,499	27,501

Продолжение табл. П1.4

№ пп	Длина, м		№ пп	Длина, м		№ пп	Длина, м	
	прямо	обратно		прямо	обратно		прямо	обратно
100	41,341	41,344	135	25,608	25,602	170	23,555	23,554
101	55,179	55,148	136	26,126	26,129	171	21,138	21,138
102	45,701	45,698	137	38,369	38,373	172	22,956	22,95
103	47,220	47,218	138	28,77	28,776	173	80,669	80,672
104	25,053	25,054	139	29,301	29,306	174	40,256	40,252
105	82,382	82,385	140	117,6	117,575	175	35,18	35,179
106	25,955	25,954	141	29,998	29,993	176	22,562	22,562
107	83,209	83,210	142	38,32	38,329	177	34,58	34,89
108	78,762	78,708	143	94,002	94,017	178	37,391	37,387
109	41,331	41,339	144	170,837	170,851	179	33,351	33,359
110	35,978	35,989	145	25,232	25,233	180	25,494	25,478
111	21,178	21,178	146	30,794	30,796	181	35,58	35,581
112	29,609	29,605	147	25,232	25,236	182	70,62	70,609
113	52,152	52,165	148	39,436	39,432	183	38,023	38,018
114	35,659	35,650	149	56,632	56,636	184	44,385	44,38
115	27,990	27,999	150	73,97	73,99	185	27,75	27,769
116	57,408	57,403	151	64,186	64,183	186	31,692	31,689
117	74,383	74,388	152	84,14	84,141	187	33,95	33,947
118	29,965	29,968	153	107,14	107,132	188	48,445	48,439
119	64,379	64,37	154	116,491	116,481	189	41,368	41,351
120	64,852	64,853	155	112,371	112,358	190	94,509	94,522
121	21,432	21,434	156	65,248	65,233	191	75,497	75,505
122	63,208	63,218	157	26,757	26,755	192	34,771	34,768
123	109,96	109,967	158	29,159	29,158	193	60,421	60,410
124	74,253	74,257	159	42,115	42,106	194	33,391	33,403
125	45,864	45,866	160	24,694	24,698	195	34,863	34,857
126	37,094	37,093	161	21,18	21,181	196	49,575	49,585
127	19,552	19,551	162	52,132	52,137	197	39,877	39,898
128	38,132	38,138	163	35,66	35,67	198	28,562	28,566
129	46,71	46,71	164	55,731	55,724	199	20,230	20,231
130	83,735	83,746	165	41,099	41,096	200	28,501	28,506
131	75,39	75,371	166	62,205	62,204	201	41,68	41,689
132	29,716	29,717	167	16,476	16,479	202	38,212	38,216
133	56,914	56,912	168	22,068	22,066	203	24,282	24,28
134	38,885	38,883	169	26,985	26,984	204	23,605	23,6

Продолжение табл. П1.4

№ пп	Длина, м		№ пп	Длина, м		№ пп	Длина, м	
	прямо	обратно		прямо	обратно		прямо	обратно
205	102,337	102,329	240	59,81	59,81	275	45,432	45,443
206	20,325	20,322	241	28,301	28,296	276	56,343	56,338
207	34,495	34,498	242	28,158	28,156	277	50,682	50,688
208	22,49	22,491	243	55,435	55,425	278	34,098	34,104
209	23,86	23,86	244	91,325	91,321	279	37,558	37,554
210	84,394	84,404	245	28,156	28,152	280	29,14	29,148
211	42,462	42,464	246	21,905	21,901	281	22,947	22,947
212	35,999	36,003	247	48,234	48,241	282	86,879	86,864
213	57,387	57,382	248	58,922	58,93	283	45,512	45,514
214	42,952	42,95	249	48,334	48,339	284	45,804	45,807
215	37,409	37,406	250	34,038	34,034	285	34,429	34,42
216	41,311	41,304	251	70,285	70,288	286	45,671	45,66
217	27,609	27,604	252	27,274	27,265	287	57,155	57,165
218	34,556	34,55	253	24,720	24,716	288	61,478	61,498
219	59,731	59,724	254	42,155	42,147	289	20,005	20,009
220	41,096	41,099	255	53,269	53,275	290	60,11	60,1
221	34,521	34,528	256	35,829	35,811	291	30,865	30,888
222	24,526	24,515	257	48,863	48,870	292	21,254	21,255
223	29,165	29,15	258	65,970	65,988	293	92,683	92,698
224	27,94	27,936	259	46,520	46,510	294	21,04	21,036
225	28,02	28,018	260	34,271	34,265	295	38,47	38,476
226	43,858	43,848	261	44,119	44,114	296	60,776	60,766
227	39,534	39,539	262	56,983	56,970	297	53,683	53,693
228	25,329	25,313	263	27,559	27,568	298	41,019	41,01
229	28,192	28,188	264	58,337	58,349	299	49,732	49,732
230	37,81	37,807	265	48,31	48,319	300	52,746	52,756
231	46,16	46,16	266	46,66	46,669	301	37,615	37,639
232	43,195	43,193	267	38,176	38,164	302	46,496	46,505
233	44,152	44,145	268	51,342	51,336	303	28,362	28,365
234	30,94	30,92	269	16,335	16,336	304	20,806	20,805
235	44,01	44,008	270	22,131	22,13	305	34,412	34,419
236	23,364	23,258	271	24,233	24,231	306	25,521	25,521
237	49,304	49,292	272	76,522	76,521	307	63,281	63,278
238	54,186	54,177	273	133,532	133,569	308	36,480	36,488
239	42,266	42,265	274	46,989	46,978	309	45,870	45,865

Продолжение табл. П1.4

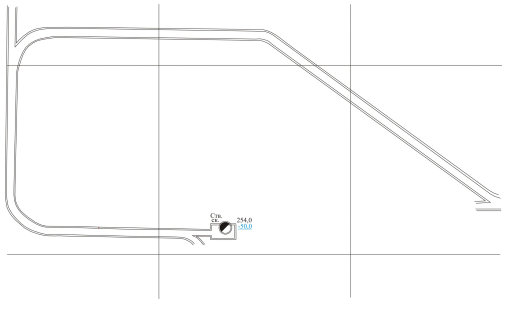
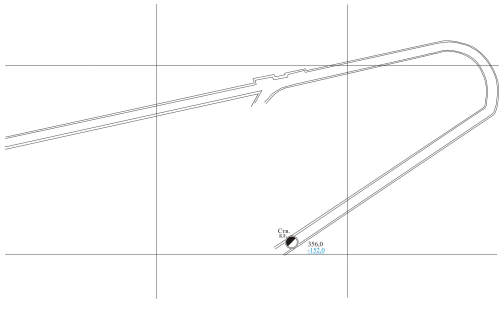
№ пп	Длина, м		№ пп	Длина, м		№ пп	Длина, м	
	прямо	обратно		прямо	обратно		прямо	обратно
310	32,884	32,873	327	20,402	20,399	344	34,501	34,494
311	32,147	32,150	328	36,13	36,137	345	44,338	44,339
312	52,759	52,771	329	36,551	36,554	346	53,841	53,834
313	28,144	28,144	330	22,668	22,666	347	44,462	44,465
314	56,942	56,938	331	55,408	55,393	348	39,217	39,216
315	59,496	59,496	332	62,655	62,637	349	33,343	33,346
316	47,740	47,730	333	45,43	45,424	350	52,877	52,875
317	39,621	39,614	334	24,398	24,396	351	32,777	32,776
318	32,577	32,569	335	45,012	45,001	352	51,657	51,657
319	39,445	39,444	336	29,775	29,791	353	43,196	43,19
320	21,076	21,071	337	32,612	32,61	354	43,747	43,736
321	29,304	29,305	338	56,116	56,128	355	50,877	50,879
322	44,979	44,98	339	55,32	55,31	356	36,678	36,682
323	29,176	29,17	340	21,49	21,485	357	46,256	46,237
324	49,938	49,93	341	25,387	25,385	358	28,221	28,213
325	52,683	52,67	342	45,212	45,204	359	21,348	21,342
326	61,146	61,125	343	37,834	37,837	360	52,413	52,407

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

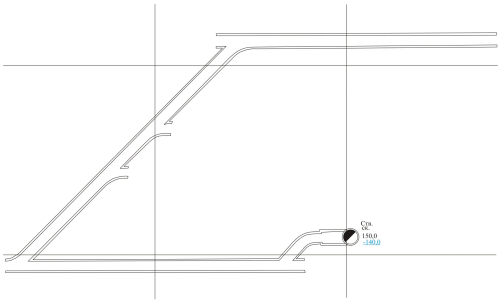
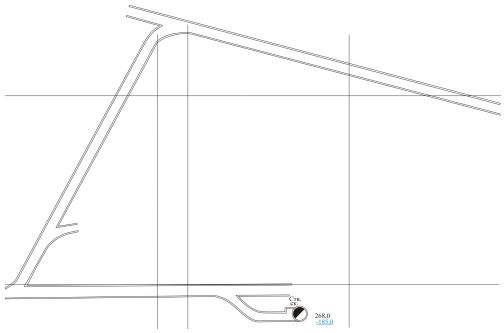
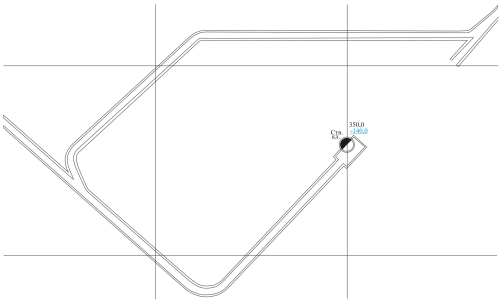
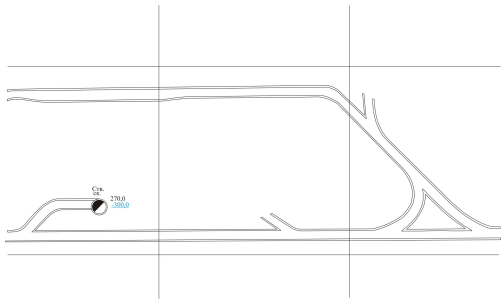
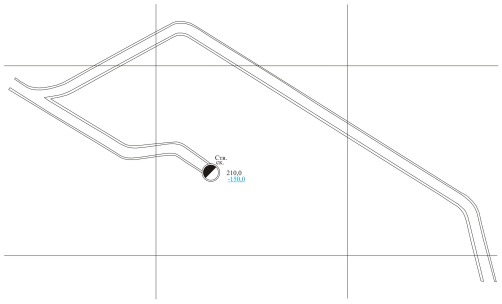
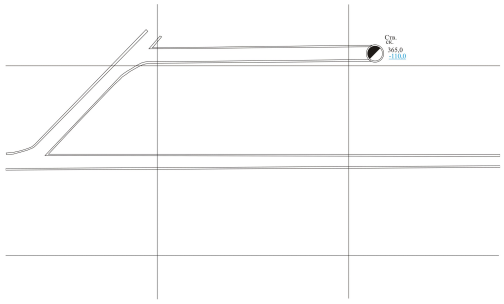
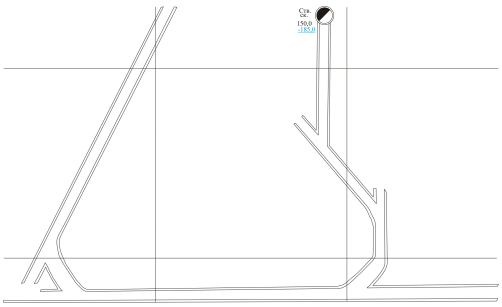
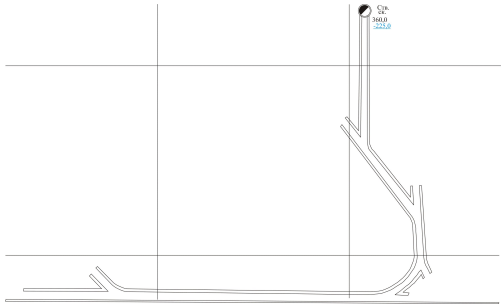
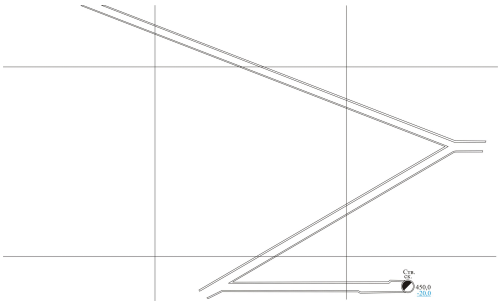
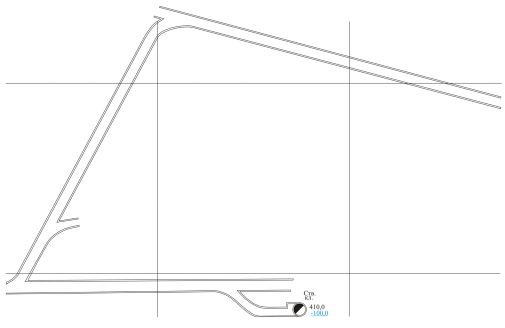
Исходные данные к заданию № 2

Таблица П2.1

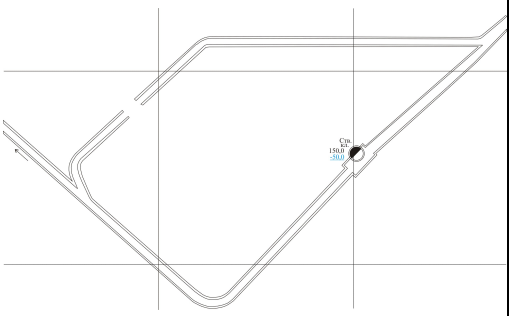
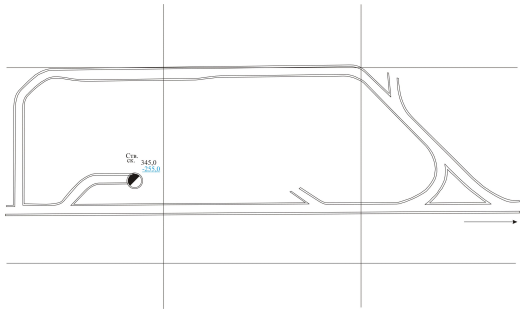
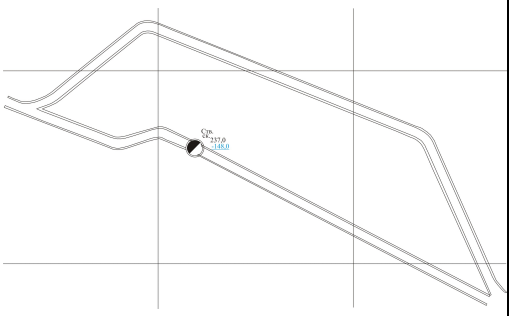
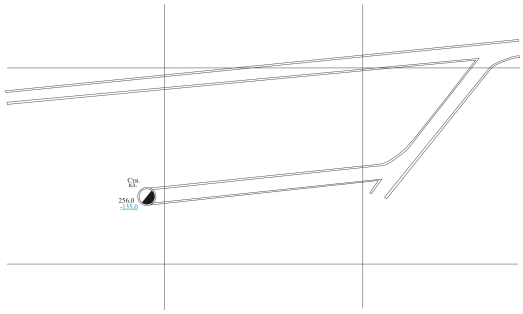
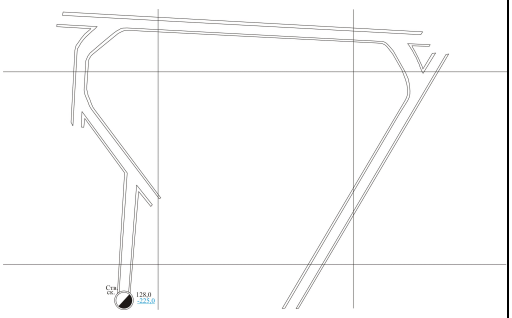
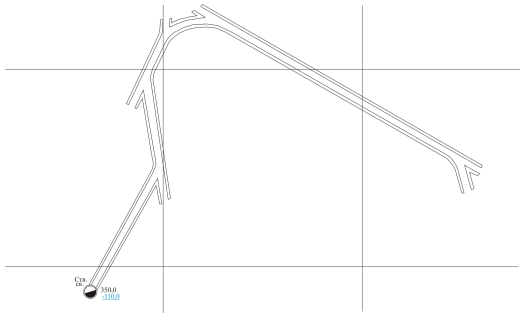
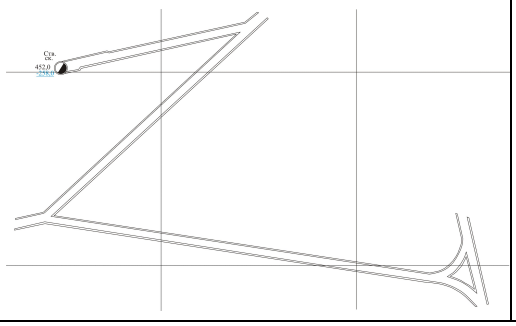
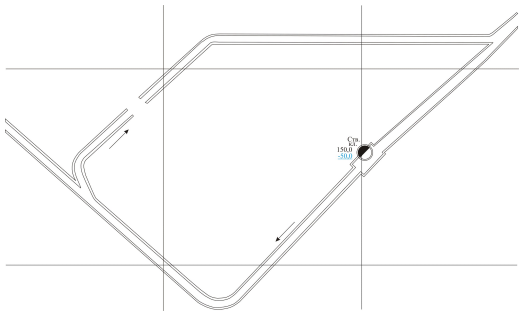
Схемы горных выработок околоствольного двора
Масштаб 1:1000

Схема к варианту		Схема к варианту	
1		2	

Продолжение табл. П2.1

Схема к варианту		Схема к варианту	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11		12	

Продолжение табл. П2.1

Схема к варианту		Схема к варианту	
13		14	
15		16	
17		18	
19		20	

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…….. 2
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА……. 2
ПРОГРАММА КУРСА…….. 3
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА…… 6
ЗАДАНИЕ № 1. Анализ точности угловых и линейных измерений по результатам производственных съемок…….. 6
ЗАДАНИЕ № 2. Определение погрешностей положения пунктов свободного полигона в плане и по высоте …… 7
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ для выполнения анализа точности угловых и линейных измерений по результатам производственных съемок……..... 9
1.1. Вычисление средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла m_β ……... 9
1.2. Вычисление коэффициента случайного влияния μ при измерении длин сторон…… 10
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ для определения погрешностей положения пункта свободного полигона в плане и по высоте…… 12
2.1. Погрешность положения пункта хода в плане…… 12
2.2. Погрешность пункта хода по высоте…… 17
Приложение 1. Исходные данные к заданию № 1…….. 19
Приложение 2. Исходные данные к заданию № 2…… 28