

УДК 622.1:528.338

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ УГЛОВЫХ И ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
В ПОДЗЕМНОЙ ПОЛИГОНОМЕТРИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Кириченко Н.А. студент гр. ГМс-151, VI курс

Научный руководитель: Т.Б. Рогова, д.т.н., профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Подземные маркшейдерские опорные сети являются главной геометрической основой для выполнения съемок горных выработок и решения горно-геометрических задач, связанных с обеспечением рациональной и безопасной разработки месторождений полезных ископаемых [1, п. 154].

Построение подземной маркшейдерской опорной сети осуществляется с учетом перспективного плана развития горных работ по специальному техническому проекту, который обязательно включает в себя оценку погрешности положения наиболее удаленных пунктов сети относительно исходных пунктов, расположенных вблизи устья вскрывающих выработок.

Оценка соответствия ожидаемой и необходимой точности подземной полигонометрии выполняется путем предрасчета погрешностей положения наиболее удаленных пунктов опорной сети и сравнением их с допустимой погрешностью, которая не должна превышать 0,8 мм на плане [1, п. 156]. Согласно принятому на предприятии масштабу съемки для составления планов горных выработок (1:1000 или 1:2000) эта погрешность может составлять, соответственно, 0,8 или 1,2 м.

В общем виде погрешность положения пункта многократно ориентированного полигонометрического хода определяют по формуле

$$m_s^2 = m_{s(\beta)}^2 + m_{s(l)}^2 + m_{s(\alpha)}^2, \quad (1)$$

где $m_{s(\beta)}$, $m_{s(l)}$, $m_{s(\alpha)}$ – средние квадратические погрешности положения пункта, обусловленные погрешностями измерения соответственно горизонтальных углов, длин сторон и ориентирования сторон хода.

В расчетах погрешности положения пунктов используются следующие показатели точности измерений:

– средняя квадратическая погрешность измерения горизонтальных углов m_β , от которой прямо пропорционально зависит $m_{s(\beta)}$;

– средняя квадратическая погрешность гироскопического ориентирования m_α , от которой прямо пропорционально зависит $m_{s(\alpha)}$;

– средняя квадратическая погрешность измерения длин сторон m_l , от которой зависит $m_{s(l)}$.

Предельно допустимые значения этих параметров, установленные нормативными требованиями [1], равны: $m_\beta = 20''$ (с учетом погрешности центрирования теодолита и сигналов); $m_\alpha = 1'$; $m_l = 3,5$ мм (с учетом того, что расхождение между двумя независимыми измерениями длины стороны электронными тахеометрами допускается не более 10 мм).

Оценка точности положения наиболее удаленного пункта проектируемой подземной маркшейдерской опорной сети выполнена для условий угольного пласта 23 шахты имени С. Д. Тихого, ведущей добычу угля марки Ж в Ленинском геолого-экономическом районе Кузбасса на участке Никитинского каменноугольного месторождения.

Подземная полигонометрия развивается по основным подготовительным горным выработкам: конвейерному уклону, магистральному конвейерному штреку (пройденные выработки), центральному конвейерному уклону и дренажному путевому штреку (проектируемые выработки). Разделенный на секции многократно ориентированный гироскопическим способом полигонометрический ход, протяженность которого составила 8915 м, включает 16 секций, 16 гиросторон, 190 вершин и 189 сторон. Результаты оценки ожидаемой погрешности положения наиболее удаленного пункта подземной полигонометрии пласта 23 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Ожидаемые средние квадратические погрешности
 положения наиболее удаленного пункта подземной полигонометрии пласта 23

Средняя квадратическая погрешность положения пункта, обусловленная:	Значения погрешности, рассчитанные с учетом угловых и линейных погрешностей, м	
	предельно допустимых	фактических
– неточностью измерения горизонтальных углов $m_{s(\beta)}$	0,21	0,16
– неточностью гироскопического ориентирования $m_{s(\alpha)}$	0,60	0,15
– неточностью измерения длин сторон $m_{s(l)}$	0,05	0,05
Погрешность положения наиболее удаленного пункта m_s	0,64	0,23
Ожидаемая погрешность положения наиболее удаленного пункта	1,35	0,48
Допустимая погрешность положения наиболее удаленного пункта при масштабе съемки 1:1000	0,80 м	

Ожидаемая погрешность положения наиболее удаленного пункта определенная с учетом предельно допустимых погрешностей измерений, составила 1,35 м. Максимальный вклад в ее значение вносят погрешности угловых измерений (гироскопического ориентирования – 0,6 м и горизонтальных углов – 0,21 м), в то время как вклад погрешности линейных измерений (0,05 м) – не значителен.

В случае несоответствия результатов предрасчетов нормативным требованиям предлагается осуществить: изменение конфигурации хода, увеличение числа гироскопически ориентированных сторон, увеличение длин сторон, увеличение числа приемов при измерении горизонтальных углов и другие меры, многие из которых применить в подземных условиях затруднительно [2]. Так, например, из-за малой протяженности горных выработок увеличение длин сторон измеряемого угла, которые определяют погрешность центрирования теодолита и сигналов, не возможно.

В настоящей работе для оценки величины погрешности наиболее удаленных пунктов поземной полигонометрии предлагается использовать не нормативные (т. е. определенные нормативными документами) погрешности измерений угловых и линейных параметров, а их фактические значения, которые могут быть установлены по результатам производственных съемок, выполненных в условиях шахты имени С. Д. Тихого. Нельзя исключить, что в условиях ведения съемок в системе конкретных горных выработок за счет применения имеющейся на шахте современной приборной базы фактические погрешности могут отличаться от нормативных как в меньшую, так и в большую сторону.

Для измерения горизонтальных углов и длин сторон на шахте имени С. Д. Тихого применяется выполненный во взрывобезопасном исполнении электронный тахеометр Leica FlexLine plus TS06-5 Ex. Паспортная средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла этого прибора – 5". Погрешность измерения длин: без отражателя ($2,0 + 2 \cdot 10^{-6} l$) мм; на призму – ($1,5 + 2 \cdot 10^{-6} l$) мм, где l – длина измеряемой стороны в мм.

Для определения дирекционных углов гироскопическим ориентированием применяется взрывозащищенный гирокомпас МВТ2, паспортная погрешность измерений азимута направления из одного пуска которого составляет 30".

Определение погрешности измерения горизонтального угла может быть выполнено по фактическим угловым невязкам замкнутых полигонов $f = \sum \beta_{\text{ф}} - \sum \beta_{\text{т}}$ при соблюдении условия [1] гарантирующего использование для определений достоверного фактического материала, что $f \leq 2m_{\beta} \sqrt{n}$, где n – число измеренных углов в полигоне, $\sum \beta_{\text{ф}}$ и $\sum \beta_{\text{т}}$ – соответственно сумма измеренных и теоретических углов; m_{β} – предельно допустимая погрешность измерения горизонтальных углов ($m_{\beta} = 20''$).

Погрешность измерения горизонтального угла вычисляют по основной и контрольной формулам:

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[f_i f_i / n_i]}{N}} \text{ и } m_{\beta} = \sqrt{\frac{[f_i f_i]}{[n_i]}}, \quad (2)$$

где N – число полигонов, принимаемых в расчет.

В обработку были приняты 30 полигонометрических ходов с числом вершин в полигонах от 3 до 39.

Фактическая погрешность измерения горизонтальных углов по основной формуле при $[f_i f_i / n_i] = 6765$ и $N=30$ составила $15,0''$; по контрольной формуле при $[f_i f_i] = 124895$, $[n_i] = 516 - 15,6''$.

Фактическая погрешность углов в подземной полигонометрии шахты $15,6''$ не превышает допустимую $20''$, что удовлетворяет нормативным требованиям [1, п. 159]. Следует отметить, что не смотря на применение точного прибора для измерения горизонтальных углов, существенно повысить точность измерения горизонтальных углов не удастся. Это объясняется тем, что наибольший вклад в погрешность измерения углов вносит погрешность центрирования прибора и сигналов.

Определение погрешности дирекционного угла по данным гироскопического ориентирования может быть выполнено по разностям двойных измерений, поскольку гироскопические азимуты одной и той же стороны определяются независимо дважды.

При наличии n двойных измерений гироскопического азимута стороны (Γ'_i и Γ''_i), фактическая погрешность измерений может быть определена по формуле

$$m_{\alpha} = \sqrt{\frac{[d_i d_i]}{2n}}. \quad (3)$$

Двойные разности в этом случае определяются по формуле $d_i = \Gamma'_i - \Gamma''_i$. Формула (2) справедлива в случае отсутствия в двойных измерениях систематических погрешностей.

В обработку были приняты 17 ориентированных гироскопическим способом сторон. Систематическая погрешность в выборке признана не значимой. Фактическая погрешность определения дирекционных углов при $[d_i d_i] = 7471$ и $n = 17$ составила $14,8''$.

Фактическая погрешность дирекционных углов, определенных гироскопическим способом гирокомпасом МВТ2 в подземной полигонометрии шахты, равная $14,8''$, почти в четыре раза меньше допустимой ($60''$) и полностью отвечает нормативным требованиям [1, п. 159].

Определение погрешности измерения длин сторон также может быть выполнено по разностям двойных измерений, поскольку длины сторон в полигонометрических ходах всегда определяют независимо дважды в прямом (l'_i) и в обратном (l''_i) направлениях. Расчет выполняется по формуле (3). Двойные разности в этом случае определяют по формуле $d_i = l'_i - l''_i$.

В обработку были приняты 67 измерений длин сторон. Минимальная длина стороны в рассматриваемых ходах – 9 м, максимальная – 260 м, средняя – 90 м. Остаточное влияние систематических погрешностей в выборке двойных разностей оценено как значимое и составило 1,0 мм. Средняя квадратическая погрешность измерения длины после исключения остаточного влияния систематических погрешностей при $[d_i d_i] = 326$ и $n = 67$ составила 1,6 мм.

В результате использования в расчетах погрешности положения наиболее удаленного пункта подземной полигонометрии пласта 23 вместо обобщенных нормативных погрешностей измерений фактически имеющих место на шахте погрешностей, а именно, $m_{\beta} = 15,6''$, $m_{\alpha} = 14,8''$, погрешности, обусловленные неточностью угловых измерений уменьшатся (табл. 1), а погрешность наиболее удаленного пункта составит 0,48 м, что менее нормативного значения – 0,8 м.

Следовательно, запроектированную сеть пунктов подземной полигонометрии шахты можно использовать для выполнения съемок горных выработок и решения технологических задач, что обеспечит безопасность ведения горных работ по пласту 23.

Список литературы

1. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Инструкция по производству маркшейдерских работ РД 07-603-03 / Федер. горн. и пром. надзор России (Госгортехнадзор). – Москва : Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2004. – 118 с.
2. Михайлова, Т. В. Анализ точности маркшейдерский измерений : учеб. пособие / Т. В. Михайлова, Т. Б. Рогова ; КузГТУ. – Кемерово, 2017. – 108 с.