

## УПРОЩЕННЫЙ СПОСОБ ПРЕДРАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ УДАЛЕННОГО ПУНКТА ПОДЗЕМНОГО ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО ХОДА

*Е.А. Сдвижкова, В.А. Назаренко, Д.В. Гвинианидзе  
ГВУЗ "Национальный горный университет", Украина*

На основании анализа различных схем разомкнутых полигонометрических ходов, имеющих ломаную форму, получена упрощенная зависимость погрешности положения конечного пункта от длины хода, длины замыкающей и количества сторон. Отклонение результатов расчетов по упрощенной формуле от расчетов по строгому способу не превышает 20%.

Из всех видов подземных маркшейдерских съемок наиболее ответственными являются съемки в подземных опорных сетях. Это обусловлено тем, что опорные сети служат главной геометрической основой всех подземных съемок и от погрешностей определения положения пунктов полигонометрических ходов, образующих сети, зависит точность и надежность решения горно-геометрических инженерных задач и составления маркшейдерских планов горных выработок.

Согласно требованиям нормативных маркшейдерских документов [1, 2] средняя квадратическая погрешность положения произвольного (наиболее удаленного) пункта опорной сети не должна превышать 0,6 м для угольных месторождений и 0,4 мм на плане для других месторождений полезных ископаемых. Эти требования обеспечиваются соответствующей точностью и методикой выполнения угловых и линейных измерений в полигонометрических ходах.

Внедрение более производительных способов разработки месторождений, применение комплексной механизации, увеличение размеров шахтных полей и процесс объединения и укрупнения горных предприятий привели к тому, что протяженность полигонометрических ходов подземных опорных сетей современных шахт и рудников значительно увеличилась и достигает десятков километров. Из-за особенностей построения подземных опорных сетей создаются предпосылки для накопления погрешностей измерений и определенных трудностей по обеспечению требуемой точности положения пунктов полигонометрических ходов. Особенно это относится к удаленным точкам опорных сетей.

Изложенное выше объясняет необходимость выполнения предварительной оценки точности положения удаленных пунктов опорной сети еще на стадии ее проектирования и принятия соответствующих мер для повышения точности в случае невыполнения нормативных требований.

Расчет ошибки положения удаленного пункта опорной сети, как правило, выполняется в виде погрешности конечного пункта свободного полигонометрического хода (рис. 1) по известной формуле (1)

$$M_K^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_i^2 + \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i + \lambda^2 L^2, \quad (1)$$

где  $m_{\beta_1}, m_{\beta_2}, m_{\beta_3}, \dots, m_{\beta_n}$  – средние погрешности измеренных углов;  $R_i = R_1, R_2, \dots, R_n$  – кратчайшие расстояния от точки  $K$  полигона до соответствующих точек хода;  $l_i = l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$  – измеренная длина сторон хода;  $L$  – длина замыкающей, соединяющей первую и последнюю точки хода;  $\lambda$  – коэффициент, выражающий влияние систематических погрешностей на единицу длины;  $\mu$  – коэффициент, выражающий влияние случайных погрешностей на единицу измеряемой длины.

Расчеты по схеме рис. 1 возможны при известных координатах точек полигонометрического хода. В случае же проектирования подземной маркшейдерской опорной сети положение точек хода не известно, т.к. в проекте построения сети устанавливают только принципиальную схему, ее основные конструктивные элементы, места определения опорных дирекци-

онных углов, места примыкания подземной сети к пунктам на земной поверхности, места замыкания полигонов и места установки постоянных пунктов. Как следствие, применение формулы (1) для расчета точности положения удаленного пункта становится невозможным.

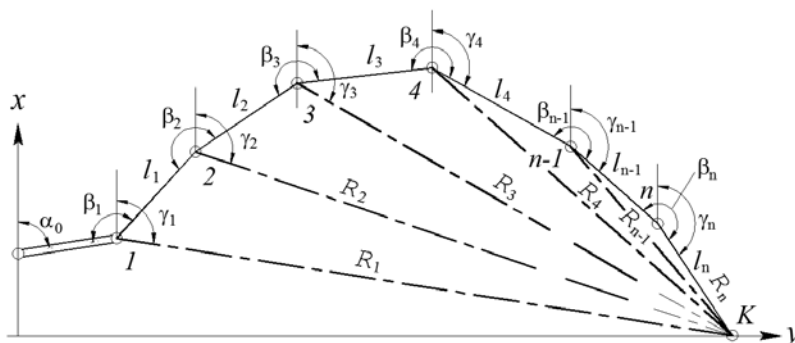


Рис. 1. Схема свободного полигонометрического хода для расчета точности положения удаленного пункта

В маркшейдерской практике используются упрощенные способы оценки точности полигонометрических ходов. В частности для расчета ошибки положения пунктов вытянутых ходов от ошибок угловых измерений рекомендуются [3, 4] формулы:

$$M^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \left( \frac{n+1,5}{3} \right); \quad (2)$$

$$M^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \left( \frac{n}{3} \right). \quad (3)$$

В ходах ломаной формы ошибки положения пунктов рекомендуется [5] выполнять по формуле

$$M_B^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \cdot \frac{(\sum l + L)^2 n}{12} \quad (4)$$

Нами выполнен расчет погрешностей удаленных точек (точка К) по строгой формуле (1) и упрощенным формулам (2-4). Всего выполнено 54 варианта расчетов, включающих 9 различных схем (рис. 2), для каждой из которых изменялись: длина хода  $S = \sum l$ , средняя длина стороны хода  $l$ , количество сторон хода  $n$  и длина замыкающей  $L$ . Результаты расчетов по формуле (1) и параметры анализируемых ходов приведены в таблице 1.

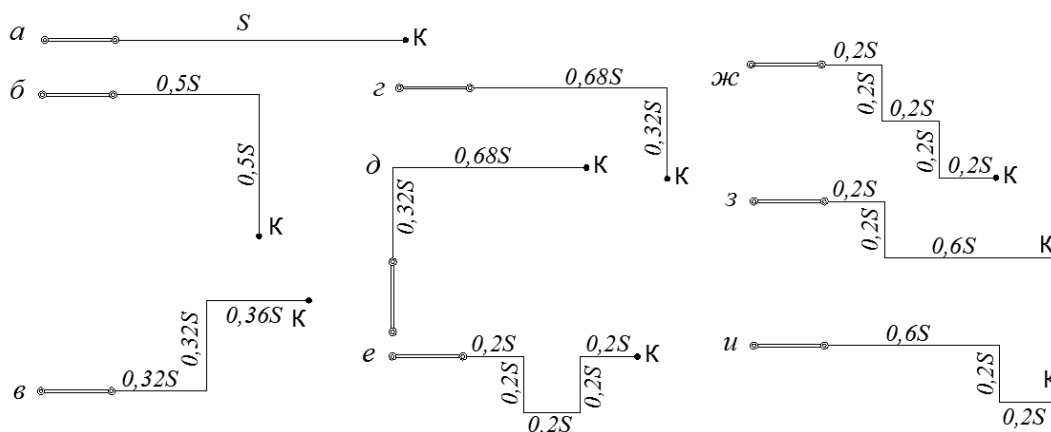


Рис. 2. Схемы анализируемых полигонометрических ходов

Параметры анализируемых полигонометрических ходов

Длина хода $S$ , м	2040		1980		3000		3960		6000		9000	
Средняя длина стороны, м	60		30		60		60		60		60	
Число сторон $n$	34		66		50		66		100		150	
№ варианта	$\sum R^2 \cdot 10^4, \text{м}^2$	$L, \text{м}$	$\sum R^2 \cdot 10^4, \text{м}^2$	$L, \text{м}$	$\sum R^2 \cdot 10^5, \text{м}^2$	$L, \text{м}$	$\sum R^2 \cdot 10^5, \text{м}^2$	$L, \text{м}$	$\sum R^2 \cdot 10^5, \text{м}^2$	$L, \text{м}$	$\sum R^2 \cdot 10^6, \text{м}^2$	$L, \text{м}$
а	4927	2040	8822	1980	1545	3000	3528	3960	12180	6000	4090	9000
б	3054	1442	5490	1400	960	2121	2195	2800	7590	4243	2551	6364
в	2741	1530	4901	1476	848	2227	1960	2952	6768	4481	2272	6708
г	3834	1530	6951	1490	1212	2255	2780	2980	9595	4509	3226	6764
д	2741	1530	4910	1490	859	2255	1963	2980	6775	4509	2275	6764
е	1857	1200	3311	1200	580	1800	1324	2400	4577	3600	1554	5460
ж	2563	1465	4589	1431	803	2163	1835	2862	6334	4327	2127	6490
з	3021	1674	5473	1637	954	2474	2189	3274	7515	4948	2522	7422
и	3762	1674	6660	1637	1191	2519	2663	3274	9243	4948	3105	7422

В дальнейшем анализе значения погрешностей  $M_K^2$ , рассчитанные по формуле (1) принимались в качестве эталона.

Анализ результатов полученных по формулам (2, 3) для вытянутого полигонометрического хода (вариант *а* на рис. 2) показал практически полную сходимость с расчетами по (1). Результаты, полученные с использованием формулы (4) получились значительно завышенными. Максимальное отклонение упрощенных расчетов получено для варианта №б и составило до 70%. Распределение относительных ошибок расчета по упрощенной формуле в зависимости от схемы ломанного хода показано на рис 3.

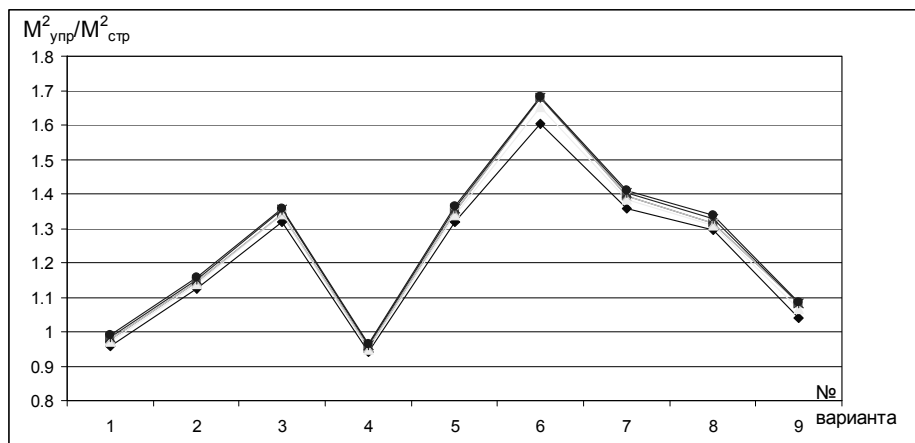


Рис. 3. Относительные погрешности расчета по упрощенной формуле (4)

Исследования погрешностей положения конечных точек полигонометрических ходов ломаной формы различной конфигурации позволили установить зависимость погрешности от длины хода, длины замыкающей и количества сторон в ходе. Для равностороннего хода эта погрешность определяется выражением

$$M_K^2 = \frac{m_B^2}{\rho^2} n(0,5L - k \sum l_i) \sum l_i, \quad (5)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от длины хода; при  $\sum l_i \leq 3000$  м  $k = 0,158$ ; при  $3000$  м  $\leq \sum l_i \leq 6000$  м  $k = 0,16$ ; при  $\sum l_i \geq 6000$  м  $k = 0,162$ .

Отклонения величин погрешностей, рассчитанных по формуле (5) от эталонных значений для 54 вариантов полигонометрических ходов не превышают 20% (см. рис. 4), что значительно точнее расчетов по формуле (4).

Такой же результат получен и при анализе погрешностей полигонометрических ходов, имеющих различные значения длин  $l_i$ , выбранные произвольно в диапазоне от 30 до 240 м.

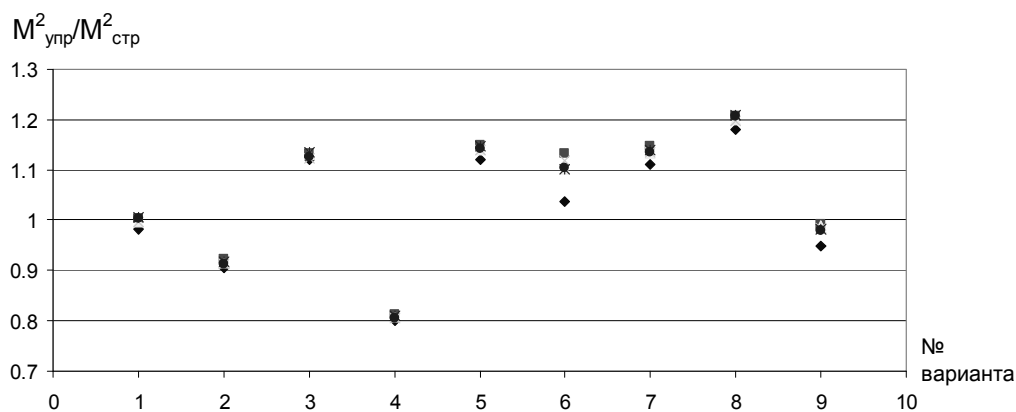


Рис. 4. Относительные погрешности расчета по упрощенной формуле (5)

#### Выводы.

На стадии проектирования подземных маркшейдерских опорных сетей применение строгих формул для расчета погрешностей полигонометрических ходов может оказаться неприемлемым из-за отсутствия геометрической информации о расположении пунктов проектируемых ходов.

Рекомендуемая ВНИМИ упрощенная формула для предрасчета погрешности удаленного пункта полигонометрического хода ломаной формы дает завышенные значения погрешностей, которые могут в 1,7 раза превышать результаты расчетов по строгой формуле.

Установлено, что основными параметрами полигонометрического хода ломаной формы, определяющими величину погрешности положения его конечной точки от погрешностей угловых измерений являются: длина хода, длина его замыкающей и количество сторон хода.

Полученная в результате исследований формула для упрощенного расчета позволяет определить погрешность положения конечной точки полигонометрического хода ломаной формы с точностью  $\pm 20\%$ , что удовлетворяет точности инженерных расчетов. Применение этой формулы значительно упрощает маркшейдерские расчеты при отсутствии необходимой геометрической информации о положении пунктов проектируемых полигонометрических ходов.

#### Список литературы

1. Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах. Інструкція // Редкоміс.: М.Є.Капланець (голова) та ін. – Вид. офіц. – Донецьк : ТОВ “АЛАН”, 2001. – 264 с.
2. Инструкция по производству маркшейдерских работ // Министерство угольной промышленности СССР. – М.: Недра, 1987. – 240 с.
3. Маркшейдерское дело: Учебник для вузов // Д.Н.Оглоблин, Г.И.Герасименко, А.Г.Акимов и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М., Недра, 1981. – 704 с.
4. Практическое руководство по построению подземных маркшейдерских опорных сетей. – Л.: ВНИМИ, 1970. – 258 с.
5. Методические указания по построению и обработке подземных маркшейдерских опорных сетей. – Л.: ВНИМИ, 1975. – 126 с.