

УДК 622.831

Назаренко В.А., д-р техн. наук, профессор,
Пиньковская Т.В., магистр,
Пономаренко Д.В., магистр
(Государственное ВУЗ «НГУ»)

**УПРОЩЕННЫЙ СПОСОБ ПРЕДРАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ
ПОЛОЖЕНИЯ УДАЛЕННОГО ПУНКТА
ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО ХОДА ЛОМАННОЙ ФОРМЫ**

Назаренко В.О., д-р техн. наук, професор,
Піньковська Т.В., магістр,
Пономаренко Д.В., магістр
(Державний ВНЗ «НГУ»)

**СПРОЩЕНИЙ СПОСІБ ПОПЕРЕДНЬОГО РОЗРАХУНКУ ПОХИБКИ
ПОЛОЖЕННЯ ВІДДАЛЕННОГО ПУНКТУ ПОЛІГОНОМЕТРИЧНОГО
ХОДУ ЛАМАНОЇ ФОРМИ**

Nazarenko V.A., D.Sc. (Tech.), Professor,
Pinkovskaya T.V., M.S. (Tech.),
Ponomarenko D.V., M.S. (Tech.)
(State HEI "NMU")

**A SIMPLIFIED METHOD FOR CALCULATING ERROR
FOR LOCATION OF REMOTE POINT OF THE BROKEN POLYGON
TRAVERSE**

Аннотация. В связи со значительным увеличением длины подземных опорных сетей актуальным является повышение точности положения удаленных пунктов.

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.

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. Полученная в результате исследований формула для упрощенного расчета позволяет определить погрешность положения конечной точки с точностью $\pm 20\%$. Применение установленной зависимости упрощает маркшейдерские расчеты при отсутствии необходимой геометрической информации о положении пунктов проектируемых полигонометрических ходов.

Ключевые слова: подземная маркшейдерская опорная сеть, полигонометрический ход, точность пунктов.

Введение. 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 полигоно-

метрических 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 м 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.

Теоретическая часть. 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; λ – коэффициент, выражающий влияние систематических погрешностей на единицу длины; μ – 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 дирекционных углов, места примыкания подземной сети к пунктам на земной поверхности, места замыкания по-

лигонов и места установки постоянных пунктов. Как следствие, применение формулы (1) для расчета точности положения удаленного пункта становится невозможным.

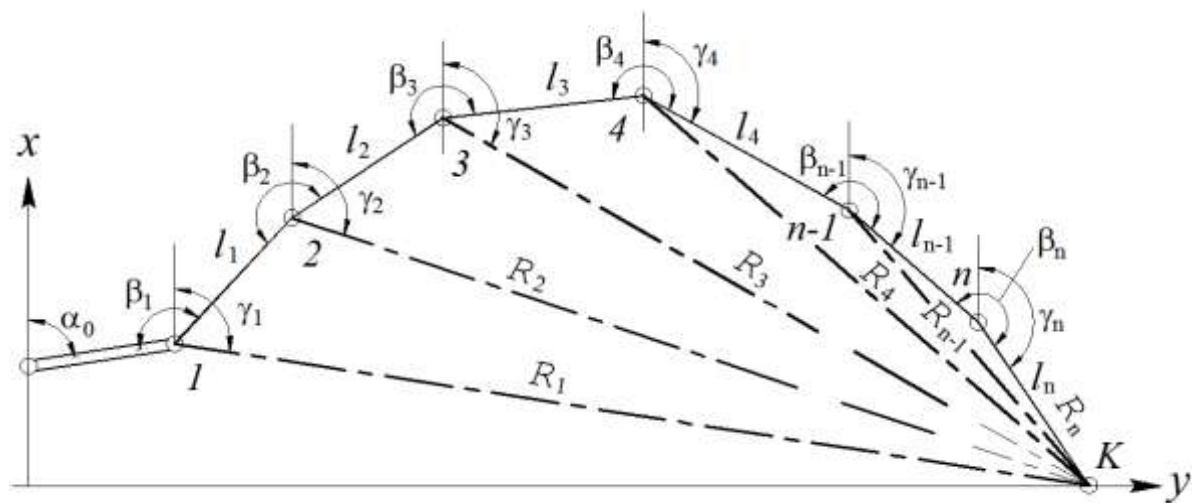


Рисунок 1 – Схема свободного полигонометрического хода для расчета точности положения удаленного пункта

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

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

Экспериментальная часть. 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, соответственно, длина замыкающей L . Результаты расчетов по формуле (1) и параметры анализируемых ходов приведе-

ны в таблице 1. В дальнейшем анализе значения погрешностей M^2_K , рассчитанные по формуле (1) принимались в качестве эталона.

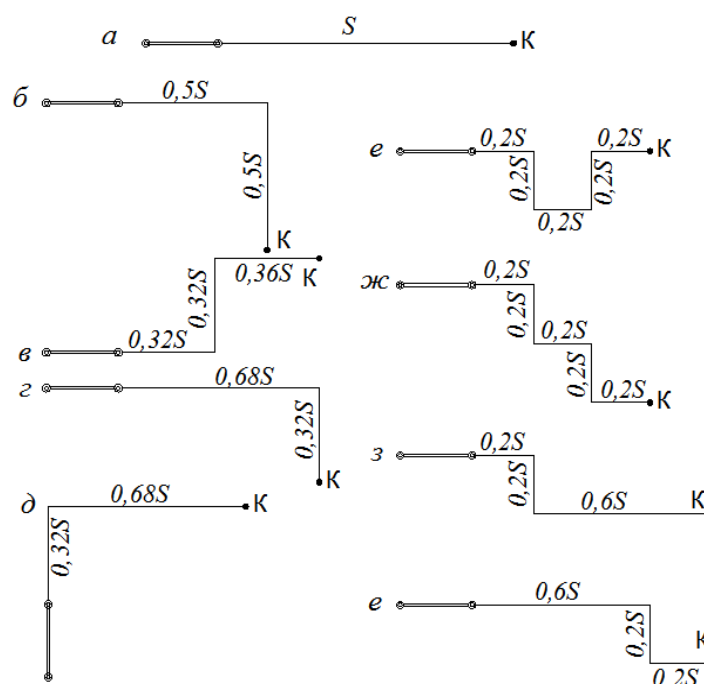


Рисунок 2 – Схемы анализируемых полигонометрических ходов

Таблица 1 – Параметры анализируемых полигонометрических ходов

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

Анализ результатов, полученных по формулам (2, 3) для вытянутого полигонометрического хода (вариант а на рис. 2) показал практически полную сходимость с расчетами по выражению (1). Результаты, полученные с использованием формулы (4) получились значительно завышенными. Максимальное от-

клонение упрощенных расчетов получено для варианта №6 и составило до 70 %. Распределение относительных ошибок расчета по упрощенной формуле в зависимости от схемы ломанного хода показано на рис. 3.

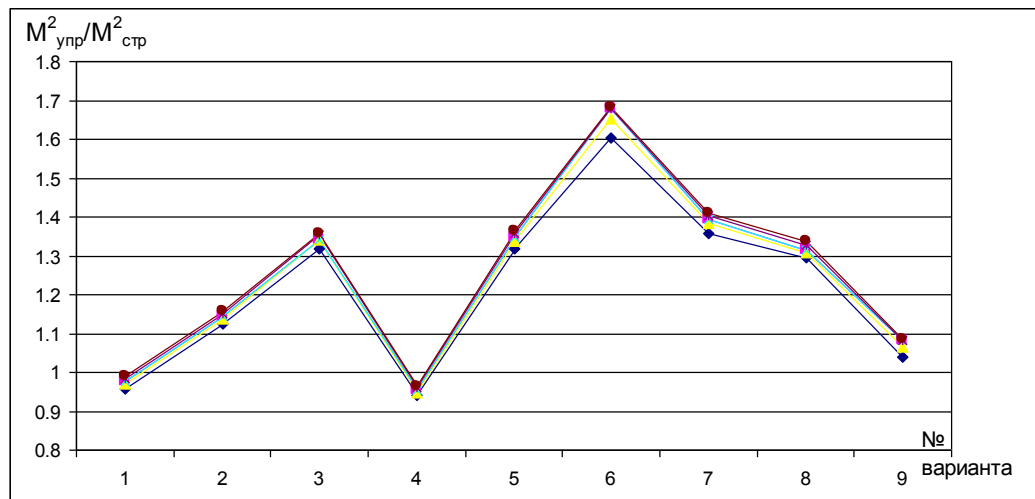


Рисунок 3 – Относительные погрешности расчета по упрощенной формуле (4)

Результаты исследований. 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

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

где k – коэффициент, зависящий от длины хода; при $\sum l_i \leq 3000$ м $k = 0,158$; при $3000 \text{ м} \leq \sum l_i \leq 6000$ 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).

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.

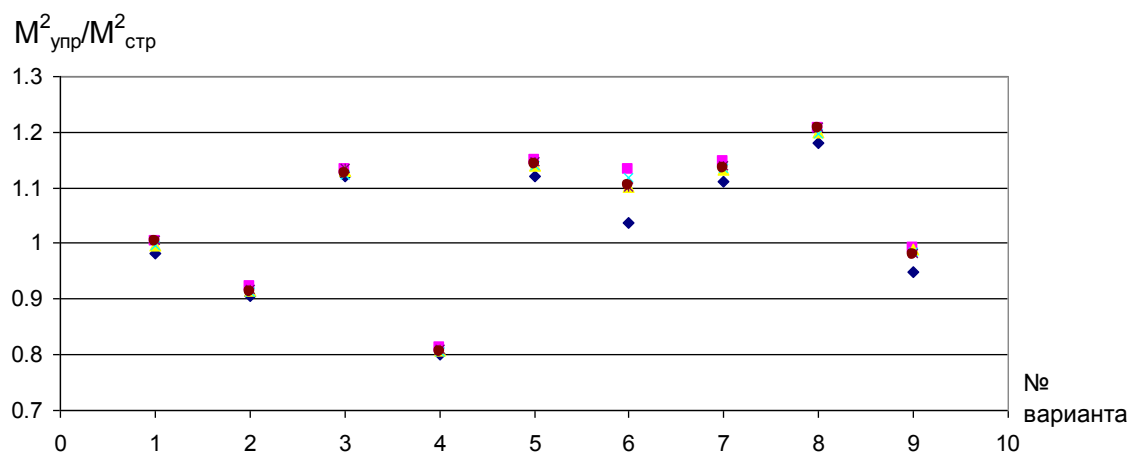


Рисунок 4 – Относительные погрешности расчета по упрощенной формуле (5)

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.С.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.

REFERENCES

1. Kaplanets, M.Ye. et al. (2001), *Markshiederski roboty na vugilnykh shakhtakh ta rozrizakh. Instruktziya* [Surveying works on coal mines and sections. Instruction], TOV “ALAN”, Donetsk, Ukraine.
2. Ministry of Coal Industry of USSR (1987), *Instruktsiya po proizvodstvu marksheyderskikh rabot* [Instructions for the production of surveying], Nedra, Moscow, USSR.
3. Ogloblin, D.N., Gerasimenko, G.I., Akimov, A.G. et al. (1981), *Marksheyderskoye delo* [Surveying], 3rd ed., Nedra, Moscow, USSR.
4. VNIMI (1970), *Prakticheskoye rukovodstvo po postroyeniyu podzemnykh marksheyderskikh opornykh setey* [Practical guide for the construction of underground mine surveying support networks], VNIMI, Leningrad, USSR.
5. VNIMI (1975), *Metodicheskiye ukazaniya po postroyeniyu i obrabotke podzemnykh marksheyderskikh opornykh setey* [Guidelines for the construction and processing of underground surveying backbone networks], VNIMI, Leningrad, USSR.

Об авторах

Назаренко Валентин Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерии, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (ГБУЗ «НГУ»), Днепр, Украина, nazar54@yandex.ru.

Пиньковская Тамара Васильевна, магистр, старший преподаватель кафедры маркшейдерии, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (ГБУЗ «НГУ»), Днепр, Украина, nazar54@yandex.ru.

Пономаренко Диана Вениаминовна, магистр, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (ГБУЗ «НГУ»), Днепр, Украина, nazar54@yandex.ru.

About the authors

Nazarenko Valentin Alekseevich, Doctor of Technical Science (D.Sc.), Professor of mine Surveying Department, State Higher Educational Institution “National Mining University” (SHEI “NMU”), Dnepr, Ukraine, nazar54@yandex.ru.

Pinkovskaya Tamara Vasilevna, Master of Sciences, Senior Lecturer of Mine Surveying Department, State Higher Educational Institution “National Mining University” (SHEI “NMU”), Dnepr, Ukraine, nazar54@yandex.ru.

Ponomarenko Diana Veniaminovna, Master of Sciences, State Higher Educational Institution “National Mining University” (SHEI “NMU”), Dnepr, Ukraine, nazar54@yandex.ru.

Анотація. У зв'язку зі значним збільшенням довжини підземних опорних мереж актуальним є підвищення точності положення віддалених пунктів.

Встановлено, що основними параметрами полігонометричного ходу ламаної форми, які визначають величину похибки положення його кінцевої точки від похибок кутових вимірювань є: довжина ходу, довжина лінії, що його замикає, і кількість сторін ходу.

На підставі аналізу різних схем розімкнутих полігонометричних ходів, що мають ламану форму, отримана спрощена залежність похибки положення кінцевого пункту від довжини ходу, довжини лінії, що замикає хід, і кількості сторін. Отримана в результаті досліджень формула для спрощеного розрахунку дозволяє визначити похибку положення кінцевої точки з точністю $\pm 20\%$. Застосування встановленої залежності спрощує маркшейдерські розрахунки за відсутності необхідної геометричної інформації про становище пунктів проєктованих полігонометричних ходів.

Ключові слова: підземна маркшейдерська опорна мережа, полігонометричний хід, точність пунктів.

Annotation. In connection with a significant increase in the length of underground support networks, it is urgent to improve accuracy of the remote point location.

It is established that main parameters of broken polygon traverse, which determine magnitude of error for the location of its end point from the errors of the angular measurements, are: length of the traverse, length of its closing side and total number of sides of the traverses.

Based on the analysis of various schemes of open polygon traverses of broken form, a simplified dependence between error of the final point location and traverse length, length of closing side and total number of sides was determined. As a result of the research, formula was obtained for the simplified calculation, which makes it possible to determine location of the final point with error accuracy of $\pm 20\%$. Application of this formula simplifies surveying calculations in the absence of necessary geometric information concerning location of the points of the projected polygon traverse.

Keywords: underground surveying backbone network, polygon traverse, accuracy of points.

Статья поступила в редакцию 25.09.2017

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Четвериком М.С.