

УДК 622.831.1

А. Н. Грищенко<sup>1</sup>, Н. Н. Грищенко<sup>2</sup><sup>1</sup> ГВУЗ «ДонНТУ», Донецьк, Україна<sup>2</sup> УкрНИИМІ, Донецьк, Україна

## Определение вероятности необнаружения грубых угловых и линейных ошибок, не выявленных невязками в ходах различной конфигурации и протяженности

В статье рассмотрен вопрос определения вероятности необнаружения грубых ошибок, не выявленных невязками в отдельных ходах. В работе установлены зависимости вероятности выявления грубых ошибок угловых и линейных измерений в полигонометрических ходах подземных опорных маркшейдерских сетей от вида и конфигурации хода, его протяженности, точности линейных и угловых измерений, которые позволяют локализовать появление грубых ошибок и оценить их величину и влияние на определяемые координаты маркшейдерских пунктов.

Ключевые слова: погрешность, конфигурации, точность, подземные маркшейдерские ходы.

Вначале исследована вероятность необнаружения грубой угловой ошибки в зависимости от ее величины и от длины висячего хода пройденного между гиросторонами (рис. 1).

Контроль измерений по невязкам ходов не дает 100 % выявления грубых ошибок. Следовательно, в уравниваемой сети возможно присутствие необнаруженных грубых ошибок, которые естественно искажают конечные результаты уравнивания.

При создании высокоточного и надежного планового обоснования необходимо знать, каковы величины этих искажений и остается ли при этом сеть пригодной для использования. Вероятность необнаружения грубой ошибки зависит от соотношения грубой ошибки и допустимой невязки (рис. 2).

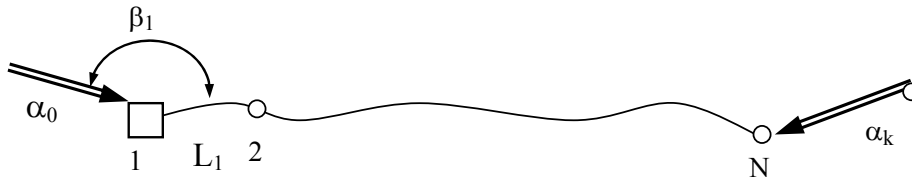


Рисунок 1 – Схема вытянутого хода

Воспользуемся интегралом вероятностей [1]:

$$\Phi(k) = P(-k \leq t \leq k) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \times \int_0^k e^{-0.5t^2} dt \quad (1)$$

Величина  $t$  представляет собой отношение фактической невязки к допустимой ( $\sqrt{2m_a^2 + m_\beta^2 n}$ ) в полигонометрическом ходе ( $m_a$ ,  $m_\beta$  - СКП гироскопических и угловых измерений (30" и 20" соответственно), а  $n$  – количество измеренных углов в ходе). В качестве фактической невязки выступает грубая ошибка (ГО).

Получаем:

$$t = \frac{ГО}{\sqrt{2 \times m_a^2 + m_\beta^2 \times n}}$$

Если величина  $t$  выйдет за 2, тогда расчет вероятности необнаружения грубых ошибок ( $W$ ) будет вестись по формуле:

$$W = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \int_0^{2+\frac{GO}{H}} e^{-0.5t^2} dt + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \int_0^{\frac{GO}{H}-2} e^{-0.5t^2} dt, \quad (2)$$

где  $GO$  – это грубая ошибка, а  $H$  – допустимая невязка в ходе.

Если величина  $t$  не превысит 2, тогда второе слагаемое вышеуказанной формулы (2) будет равно  $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \int_0^{\frac{GO}{H}} e^{-0.5t^2} dt$ .

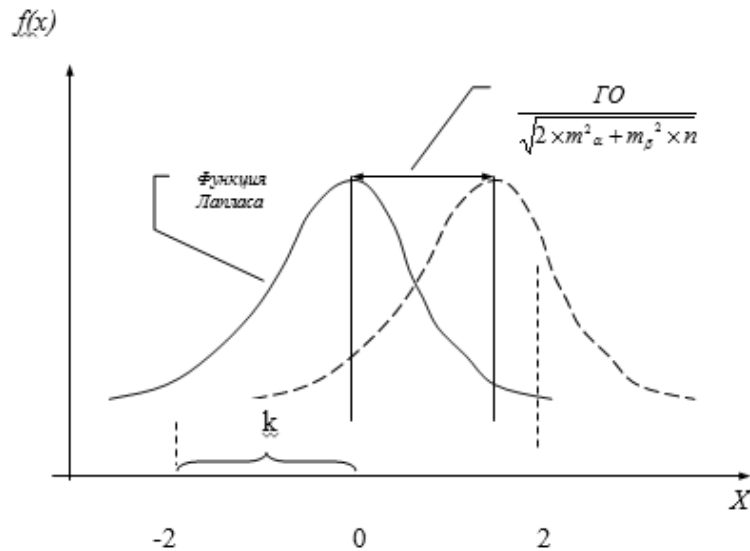


Рисунок 2 - Смещение функции Лапласа при наличии грубой ошибки измерений

Результаты получены по выведенным формулам на основе функции плотности вероятности нормального закона распределения, функции Лапласа и интеграла вероятностей.

Из рис. 3 видно, что грубые ошибки в 7' и более практически всегда выявляются на этапе контроля угловых невязок ходов. Выявлено, что с увеличением количества углов в разомкнутом ходе плавно уменьшается вероятность обнаружения грубой ошибки. На графике видно, что вероятность обнаружения  $GO$  в 1-3' составляет ~30% для ходов протяженностью в 1 км (~30 пунктов в ходе). Так при  $GO$  в 5' и 20 углах в ходе вероятность ее обнаружения составляет 85%, а при 40 углах – уже 60%.

Далее, исследована вероятность необнаружения грубых угловых и линейных ошибок, не выявленных невязками в ходах различной конфигурации и протяженности.

Для проведения эксперимента были выделены семь видов полигонометрических ходов: вытянутый висячий ход, зигзагообразный висячий ход, диагональный висячий ход, Г-образный висячий ход, П-образный висячий ход, разомкнутый ход и замкнутый ход. Виды ходов рассмотрены в работе [2]. Для каждого из видов ходов были сгенерированы по три хода протяженностью соответственно 1 км, 2 км и 3 км.

Средняя квадратическая ошибка измерения горизонтальных углов в подземной маркшейдерской опорной сети согласно действующей маркшейдерской «Инструкции...» [3] принималась равной 20". Максимальное расхождение между двумя измерениями одной стороны согласно той же инструкции принималось равным 1:3000. Величины грубых ошибок в угловых измерениях варьировали в диапазоне от 1' до 10'. Величины грубых ошибок в линейных измерениях колебались в диапазоне от 1:1000 до 1:100.

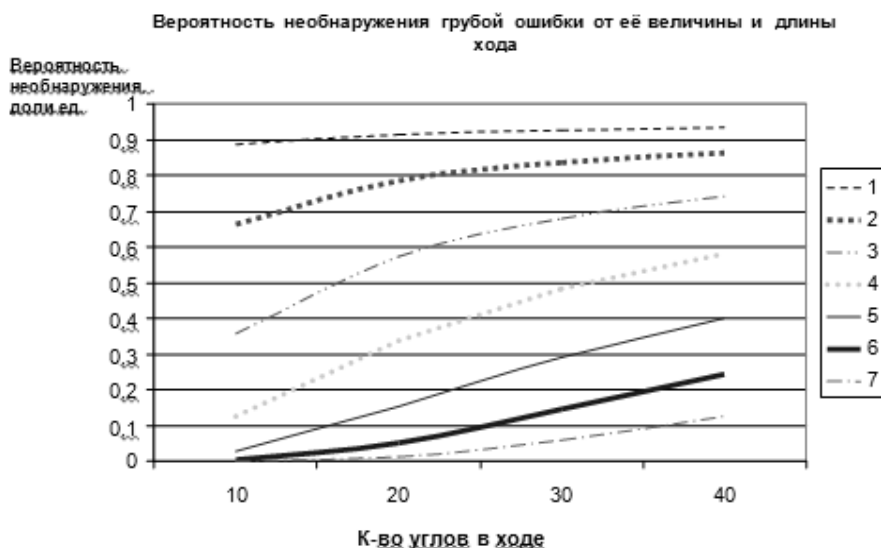


Рисунок 3 – Вероятность необнаружения грубых ошибок (от 1 до 7') для ходов различной протяженности

Для каждого из видов полигонометрических ходов были реализованы четыре следующие модели влияния погрешностей:

- модель влияния случайных погрешностей угловых и линейных измерений;
- модель влияния случайных погрешностей угловых и линейных измерений и грубой ошибки угловых измерений;
- модель влияния случайных погрешностей угловых и линейных измерений и грубой ошибки линейных измерений;
- модель влияния случайных погрешностей и грубых ошибок угловых и линейных измерений.

Число реализаций (расчётов) в каждой модели составляло от 1000 до 10000. Работа каждой из моделей в статистическом эксперименте осуществлялась по следующей схеме. В тысячах полигонометрических ходах всех конфигураций, а также в разомкнутом и замкнутом ходах в каждом цикле реализации выполнялось определение угловой невязки и относительной ошибки хода. При этом фиксировались все случаи, когда угловая невязка хода превышала допустимую невязку ( $Kb$  случаев). Отношение  $Kb/Kr$ , где  $Kr$  – число реализаций, определяет вероятность обнаружения соответствующей погрешности измерения углов. Соответственно вероятность необнаружения этой погрешности будет равной  $(1 - Kb/Kr)$ .

Аналогичным образом фиксировались все случаи, когда относительная ошибка хода превышала установленный допуск  $1:3000$  ( $Kxy$ ), и с известным допущением через отношение  $Kxy/Kr$  определялась вероятность обнаружения соответствующей погрешности измерения длин сторон хода.

В эксперименте фиксировались также и те случаи, когда оба этих превышения невязок фиксировались одновременно ( $Kbxy$ ), т.е. когда угловая невязка и относительная ошибка хода одновременно превышали установленные допуски. Эти случаи практически отсутствовали в модели влияния случайных погрешностей угловых и линейных измерений, но стабильно присутствовали в моделях влияния грубых ошибок как угловых, так и линейных измерений. Аналогично через отношение  $Kbxy/Kr$  определялась вероятность обнаружения соответствующих погрешностей угловых и линейных измерений.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие основные заключения:

1. Для всех видов полигонометрических ходов вероятность необнаружения грубых ошибок измерения углов и длин снижается с ростом величины грубой угловой ошибки (с 1' до 10') в 2,6 раза для ходов протяжённостью 1 км, в 2,0 раза для ходов протяжённостью 2 км и в 1,7 раза для ходов протяжённостью 3 км. Наличие грубых ошибок измерения углов обнаруживается намного быстрее, чем наличие грубых ошибок измерения длин, причём, чем больше грубая ошибка измерения углов, тем быстрее она может быть обнаружена.

- Для всех видов полигонометрических ходов вероятность необнаружения грубой угловой ошибки на этапе определения относительной ошибки хода уменьшается как с ростом грубой ошибки измерения углов, так и с ростом протяженности хода. При этом максимальное снижение вероятности необнаружения наблюдается для вытянутого висячего хода, а минимальное – для П-образного висячего хода.
- Вероятность необнаружения грубой угловой ошибки одновременно на этапе определения угловой невязки и на этапе определения относительной ошибки хода является максимальной для всех видов ходов, поскольку подобные случаи встречаются реже всего.

В результате проведенных исследований получены графики вероятности необнаружения грубых угловых и линейных ошибок, не выявленных невязками в ходах различной конфигурации и протяженности. На рис. 4 приведен типичный график вероятности необнаружения погрешностей для вытянутого висячего хода.

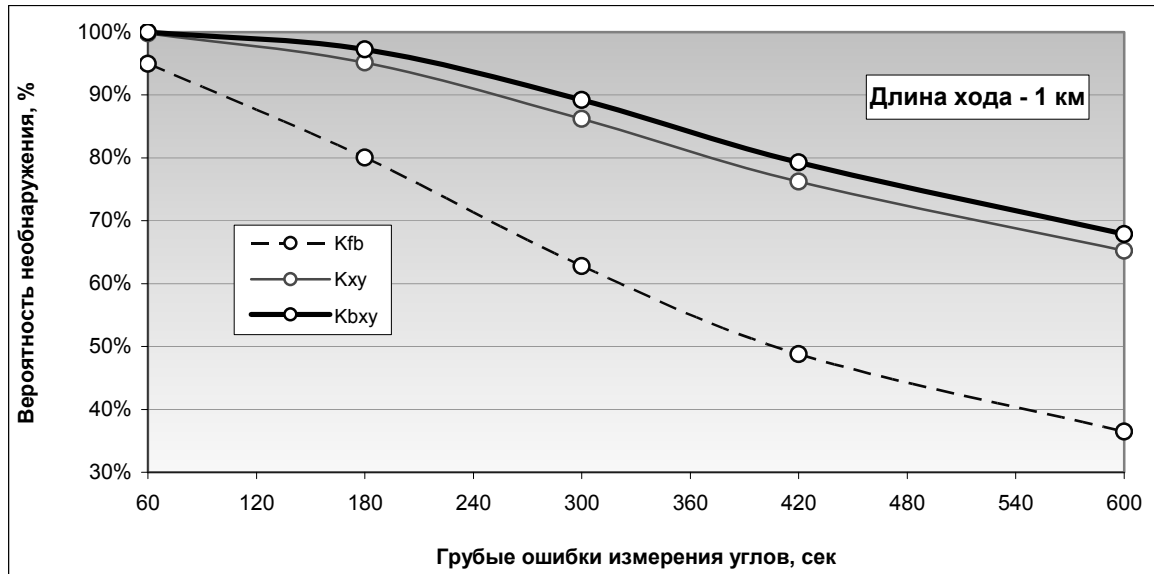


Рисунок 4 – Вероятность необнаружения случайных погрешностей и грубых ошибок измерения углов и длин в вытянутом висячем полигонометрическом ходе

### Библиографический список

- Браунли, К.А. Статическая теория и методология в науке и технике / К.А.Браунли. Пер. с англ.- М.: Наука, 1977.- 256 с.
- Грищенко, Н.Н. Исследование влияния различных видов измерительных средств и различных конфигураций ходов на погрешность определения пунктов теодолитных и полигонометрических ходов / Н.Н. Грищенко, А.М. Грищенко // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. – Вип. 2. – Донецьк: ДонНТУ. – 2013. – С. 170-180.
- КД 12.06.203-2000 «Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах. Інструкція». - Мінпаливенерго України, Київ, 2001. – 264 с.

Надійшла до редакції 31.03.14

А. М. Грищенко<sup>1</sup>, М. М. Грищенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна

<sup>2</sup> Український державний науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи (УкрНДМІ), Донецьк, Україна

Визначення ймовірності невиявлення грубих куткових і лінійних помилок, невиявлених невязками в ходах різної конфігурації та протяжності

У статті розглянуто питання визначення ймовірності невиявлення грубих помилок, не виявлених невязками в окремих ходах. У роботі встановлені залежності ймовірності виявлення грубих помилок куткових і лінійних вимірювань в полігонометричних ходах підземних опорних маркшейдерських мереж від виду та конфігурації ходу, його протяжності, точності лінійних і куткових вимірювань, які дозволяють

локалізувати появу грубих похибок і оцінити їх величину та вплив на координати маркшейдерських пунктів.

Ключові слова: похибка, конфігурації, точність, підземні маркшейдерські хода.

A. N. Grishchenkov<sup>1</sup>, N. N. Grishchenkov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine*

<sup>2</sup> *Ukrainian State Scientific-Research and Design Institute of Mining Geology, Rock Mechanics and Mine Surveying (UkrNDMI), Donetsk, Ukraine*

### Determination of the probability of undetected gross angular and linear error not detected with discrepancies in the ducts of various configurations and lengths

The paper reviews the problem of the probability of non-detection of gross errors which are not revealed with the residuals in separate polygonometries courses. We established dependences of probability of gross error detection for angular and linear measurements in polygonometries courses of underground basic mine-surveying networks of type and configuration of the course, its length, accuracy of angular and linear measurements. These dependencies enable to localize the emergence of gross errors and estimate their value and impact on the designated coordinates of mine-surveying points. Results of study may be used for solving mine surveying tasks such as planning and development of underground surveying networks.

Keywords: error, configuration, accuracy, underground mine-surveying courses.