

И.А. Лысков, Е.Г. Леонова

I.A. Lyskov, E.G. Leonova

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

**СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК ПРЕДРАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ
НАИБОЛЕЕ УДАЛЕННОГО ПУНКТА ПОДЗЕМНОЙ СЕТИ
С ВВЕДЕНИЕМ В НЕЕ ГИРОСТОРОН СОВРЕМЕННЫМ
ОБОРУДОВАНИЕМ**

**COMPARISON OF TECHNIQUES OF PRECALCULATION
OF THE ERROR OF THE MOST REMOTE POINT OF THE
UNDERGROUND NETWORK WITH INTRODUCTION
IN IT GYROSIDE BY THE MODERN EQUIPMENT**

Представлено определение и методика выполнения гироскопического ориентирования. Рассмотрены характеристики современных гироскопических приборов. Проведен анализ погрешности удаленного пункта подземной сети с гиросторонами двумя способами в двух ситуациях с учетом различной точности гироскопических приборов.

Definition and technique of performance of gyroscopic orientation are presented in work. Characteristics of modern gyroscopic devices are considered. The analysis of an error of remote point of an underground network with gyrosides is carried out in two ways at two situations taking into account accuracy of different gyroscopic devices.

Ключевые слова: гироскопическое ориентирование, гирокомпас, основной способ и способ «эквивалентных» ходов, анализ точности, погрешность удаленного пункта.

Keywords: gyroscopic orientation, a gyrocompass, the basic way and the way of "equivalent" courses, the accuracy analysis, an error of remote point.

В настоящее время ориентировку шахт производят несколькими способами, но одним из самых прогрессивных, обеспечивающих максимальную точность и надежность опорных и съемочных сетей, является гироскопический способ. Гироскопическое ориентирование – процесс определения дирекционного угла гирокомпасом. Гирокомпас (гиротеодолит) – это угломерный инструмент, в котором конструктивно объединены гироскоп и теодолит.

Гироскоп служит для указания направления меридиана, а с помощью теодолита фиксируется положение стороны теодолитного хода относительно этого направления [1]. Преимуществом способа является: возможность определения дирекционного угла любой стороны, возможность производства работ без остановки основных процессов работы шахты, уменьшение требований к точности подземной полигонометрии.

Опишем методику выполнения гироскопического ориентирования:

- На поверхности должна быть линия с известным дирекционным углом и истинным азимутом. Становимся в точку с известными координатами с гирокомпасом. Через некоторое время (оно зависит от технических характеристик гирокомпаса) берем 25–35 отсчетов. Находим гироскопический азимут, высчитываем гироскопическую поправку по формуле

$$\delta = A_0 - \Gamma_0 = \alpha_0 + \gamma_0 - \Gamma_0,$$

где A_0 – геодезический азимут известной линии; α_0 – дирекционный угол известной линии; γ_0 – сближение меридианов; Γ_0 – гироскопический азимут.

Поправку гирокомпаса определяют перед началом и после окончания ориентирования подземной маркшейдерской опорной сети шахты (горизонта). Ее определяют на сторонах триангуляции или полигонометрии точности не ниже 1-го разряда [2].

- Спускаемся в шахту и становимся на стороне, дирекционный угол которой необходимо определить. Повторяем предыдущий пункт. Гироскопический азимут ориентируемой стороны определяем независимо дважды. Допустимая разность между двумя последовательными определениями гироскопического азимута или поправки определяется по формуле

$$f_a = 3m_r,$$

где m_r – средняя квадратическая погрешность единичного определения гироскопического азимута [2].

- Высчитываем дирекционный угол:

$$\alpha = A - \gamma = \Gamma + \delta - \gamma,$$

где A – геодезический азимут линии; Γ – гироскопический азимут; γ – сближение меридианов.

Координаты X и Y в точке стояния определяются геометрическим способом путем примыкания к одному отвесу на поверхности и в шахте [3].

Сегодня существуют различные конструкции гирокомпасов, изобретенные как в нашей стране, так и за рубежом. Наиболее распространенным в нашей стране является гирокомпас МВТ2, разработанный ВНИМИ в 1967 г. МВТ2 обеспечивает точность 30'' за 25–30 мин, работает на широтах до 75°.

Масса комплекта гирокомпаса в транспортном положении 33 кг. На данный момент основными производителями гирокомпасов являются: Германия – фирма DMT (GYROMAT), Япония – фирма SOKKIA (гиронасадки типа GP1), Швейцария – фирма Leica.

Автоматическая гиросанция GYRO X II фирмы SOKKIA представляет собой систему, включающую в себя гироскопическую насадку (вес 4 кг), электронный тахеометр марки SX и блок питания (вес 3,8 кг). Гиронасадка выполнена в виде съемного модуля, который крепится сверху на прибор. Принцип действия основан на свойстве подвешенного на торсионе гиromaятника совершать колебания относительно истинного меридиана, которые вызываются вращением Земли. Гиросанция предоставляет возможность автоматического наблюдения колебаний благодаря использованию в ней новейшего датчика изображения, т.е. фактически исключается человеческий фактор. Определение направления на север производится в течение 19 мин со средней квадратической погрешностью 15". Работает на широтах до 75° [4]. GYRO X II применяется при строительстве туннелей, прокладке подземных коллекторов, строительстве подземных сооружений большой протяженности. Измерение сводится к выполнению трех шагов: сориентировать гиросанцию приблизительно в направлении истинного севера, отпустить зажимной винт, нажать кнопку измерений [5]. GYRO X II по сравнению с MBT2 легче и имеет меньший размер.

GYROMAT3000 фирмы DMT, разработанный на основе гиротеодолита, позволяет проводить геодезические работы с наиболее высокой точностью и быстротой, независимо от магнитного поля Земли. Принцип действия гироскопической части аналогичен гиронасадке GYRO X II. Специальная электрооптическая развертывающая система определяет положение географического севера автоматически, с предельной точностью. Отличительная черта GYROMAT3000 – скорость. Требуется примерно 1 мин, чтобы выполнить одно измерение с точностью 20", и примерно 15 мин – с точностью 3". Последней разработкой фирмы DMT является гирокомпас GYROMAT5000, который обладает повышенной точностью: за 6–9 мин выполняется одно измерение с точностью 2,6". Он так же, как и его предшественник, работает на широтах до 80° [6]. Все характеристики гирокомпасов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики гирокомпасов

Модель гирокомпаса	Масса, кг	Время одного пуска, мин	Точность измерения, с
MBT2	33	25–30	30
GYRO X II	4	19	15
GYROMAT3000/GYROMAT5000	16	15/6–9	3/2,6

Однако такие приборы, как GYROMAT3000, имеют высокую стоимость и не всегда оправдывают затраты. Приборы фирмы DMT были использованы при строительстве «Евротонеля» под Ла-Маншем.

Исследование заключалось в сравнении ошибок определения координат последней точки подземной опорной сети, при этом вводились гиростороны с помощью гироскопических приборов различной точности.

По плану горных выработок шахты Комсомольская (масштаб 1:2000) была проложена опорная маркшейдерская сеть (рисунок). Общая длина хода составила 1916,587 м, количество пунктов ОМС – 38. В первую очередь была вычислена ошибка координат последней точки свободного полигона без гиросторон:

$$M_k = \pm \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = \pm \sqrt{M_{\infty 0}^2 + M_{\beta}^2 + M_l^2},$$

$$M_x = \pm \sqrt{M_{x\infty 0}^2 + M_{x\beta}^2 + M_{xl}^2}, \quad M_y = \pm \sqrt{M_{y\infty 0}^2 + M_{y\beta}^2 + M_{yl}^2},$$

где $M_{x\infty 0}$, $M_{y\infty 0}$ – ошибки координат, обусловленные погрешностью определения дирекционного угла исходной стороны; $M_{x\beta}$, $M_{y\beta}$ – ошибки координат в зависимости от ошибок измерения горизонтальных углов; M_{xl} , M_{yl} – ошибки координат, обусловленные ошибками измерения длин линий.

В итоге M_k составила 1,8 м. По требованию инструкции [2] ошибка не должна превышать 0,8 мм в масштабе плана, т.е. 1,6 м. Ожидаемая ошибка больше допустимой, поэтому производим корректировку методики маркшейдерских работ, т.е. предрасчет погрешности удаленного пункта с гиросторонами (M_n), количество гиросторон для данного хода – 2. Было рассмотрено четыре ситуации:

1. Первая гиросторона является 1-й стороной хода, вторая гиросторона является 26-й стороной хода и находится на расстоянии более 600 м от забоя.
2. Первая гиросторона является 3-й стороной хода, вторая гиросторона является 26-й стороной хода и находится на расстоянии более 600 м от забоя.
3. Первая гиросторона является 6-й стороной хода, вторая гиросторона является 26-й стороной хода и находится на расстоянии более 600 м от забоя.
4. Первая гиросторона является 9-й стороной хода, вторая гиросторона является 26-й стороной хода и находится на расстоянии более 600 м от забоя.

Для сравнения были взяты приборы GYRO X II и GYROMAT3000 (см. табл. 1). Предрасчет погрешности высчитывался двумя способами: основным способом и способом «эквивалентных ходов» (метод Медянцева).

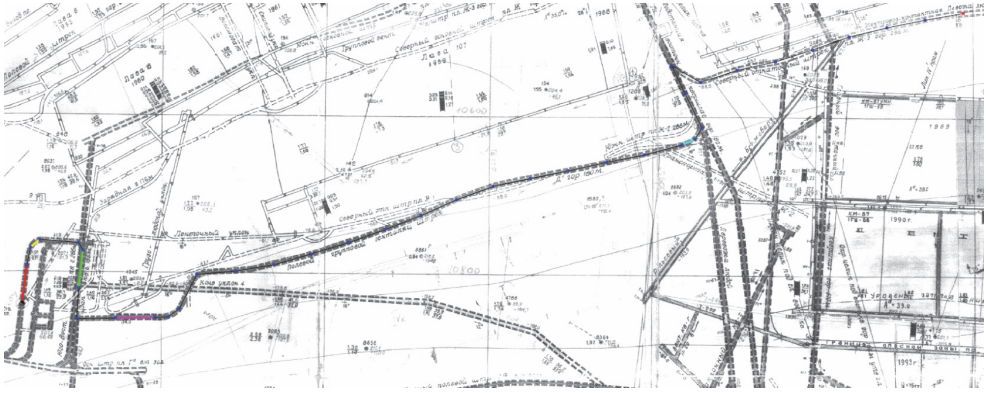


Рис. Выкопировка из плана горных выработок шахты Комсомольская: — гиросторона является 26-й стороной хода (остается постоянной во всех случаях); — гиросторона является 1-й стороной хода; — гиросторона является 3-й стороной хода; — гиросторона является 6-й стороной хода; — гиросторона является 9-й стороной хода

Формула для вычисления погрешности основным способом

$$M_n^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \left\{ \sum_{i=1}^{t1} D_{01,i}^2 + \sum_{i=1}^{t2} D_{02,i}^2 + \dots + \sum_{i=1}^{t\tau} D_{0\tau,i}^2 + \sum_{i=1}^{t\tau+1} R_i^2 \right\} + \frac{m_{\alpha\tau}^2}{\rho^2} \left\{ \sum_{i=1}^{\tau-1} D_{0j,0(j+1)}^2 + D_{01,1}^2 + D_{0\tau,p}^2 \right\} + \mu^2 \sum_{i=1}^n S_i + \lambda^2 L^2,$$

где m_β – погрешность измерения горизонтальных углов, $m_\beta = 20''$; $m_{\alpha\tau}$ – погрешность определения дирекционных углов гиросторон, $m_{\alpha\tau} = m\sqrt{2}$; μ, λ – коэффициенты случайного и систематического влияния при линейных измерениях ($\mu = 0,001$, $\lambda = 0,000\ 05$); τ – число секций хода; t – число углов хода; $D_{01,i}, D_{02,i}, \dots, D_{0\tau,i}$ – расстояния, определяемые в каждой секции от центра тяжести до i -го пункта секции; R_i – расстояние от i -го пункта висячего хода, опирающегося на гиросторону, до последнего пункта; $D_{0j}, D_{0(j+1)}$ – расстояние между центрами тяжести смежных секций; $D_{1,01}$ – расстояние от первого пункта хода до центра тяжести первой секции; $D_{0\tau n}$ – расстояние от центра тяжести последней секции до последнего пункта; S_i – длина стороны; n – число сторон хода, $n = 37$; L – длина замыкающей всего хода, $L = 1521,512$ м [7].

Формула для вычисления погрешности способом «эквивалентных ходов»:

$$M_n^2 = \frac{m_{\beta}^2}{12\rho^2} \left\{ 4S_I^2 (n_{II} + 1,5) + 4S_{II}^2 (n_{II} + 1,5) + \dots + \sum_{i=1}^N S_i^2 (n_i + 3) \right\} + \frac{m_{\alpha}^2}{4\rho^2} \left\{ (2S_1 + S_2)^2 + (S_1 + S_2)^2 + \dots + (S_1 + 2S_2)^2 + \mu^2 [l] + \lambda^2 L^2 \right\},$$

где $S_1, S_2, S_3, \dots, S_N$ – «эквивалентные» длины секций,

$$S = 0,5\sqrt{3L_c^2 + [l]_c^2},$$

где L_c – длина замыкающей секции; $[l]_c$ – сумма длин сторон секции; $n_1, n_{II}, n_1, n_2, \dots, n_N$ – число сторон в секциях; $[l]$ – общая длина полигометрического хода, $[l] = 1916,587$ м [8].

Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты предрасчета погрешности удаленного пункта хода с гидросторонами

Гироскопическое оборудование	Точность	Первая гидросторона – 1-я сторона хода, м		Первая гидросторона – 3-я сторона хода, м		Первая гидросторона – 6-я сторона хода, м		Первая гидросторона – 9-я сторона хода, м	
		О	М	О	М	О	М	О	М
МВТ2	30"	0,324	0,323	0,316	0,319	0,305	0,306	0,292	0,301
GYRO X II	15"	0,246	0,240	0,239	0,233	0,229	0,220	0,215	0,213
GYROMAT3000	3"	0,216	0,207	0,208	0,198	0,198	0,184	0,184	0,176

Примечание. О – основной способ; М – метод Медянцева.

На основании проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Чем выше точность гироскопа, тем меньше погрешность положения последней точки хода.

2. Ошибка координат последнего пункта подземной сети зависит от конфигурации хода и расположения гидросторон. Оптимальным считается равномерное размещение гидросторон в ходе, т.е. расстояние от начала хода до первой гидросторон, между гидросторонами и от последней гидросторон до последнего пункта подземной сети должно быть примерно одинаковым. Это подтверждается результатами данной работы.

3. Основной способ предрасчета погрешности удаленного пункта трудоемок и сложен, метод Медянцева же является более простым и точным, так как вероятность допустить ошибку при расчетах меньше.

4. Полученная погрешность в несколько раз меньше ожидаемой и допустимой ошибки, следовательно, для данной сети горных выработок не обязательно производить измерение дорогостоящими гироскопами, можно использовать менее точный, но доступный по цене прибор.

Список литературы

1. Маркшейдерское дело / Д.Н. Оглоблин [и др.]. – М.: Недра, 1981. – 562 с.
2. РД-07-603–03. Инструкция по производству маркшейдерских работ. – М.: Недра, 2004. – 116 с.
3. Ушаков И.Н. Маркшейдерское дело. – М.: Недра, 1989. – 311 с.
4. Глейзер В.И., Молостов Р.В. Гироскопическое ориентирование и современная геодезия // Геопрофи-2012. – № 5. – С. 18–20.
5. GYRO X II Automated Gyro Station [Электронный ресурс]. – URL: <http://eu.sokkia.com/products/optical-instruments/monitoring-specialty-systems/gyro-x-ii-automated-gyro-station> (дата обращения: 21.03.2014).
6. GYROMAT фирмы DMT [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gyromat.de> (дата обращения: 21.03.2014).
7. Шаманская А.Т. Анализ точности маркшейдерских работ: метод. указания / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1997. – 70 с.
8. Медянцева А.В. Новый метод расчета погрешности удаленной точки подземной опорной сети шахты // Маркшейдерский вестник. – 1995. – № 4. – С. 8–11.

Получено 30.06.2014

Лысков Илья Андреевич – старший преподаватель, ПНИПУ, ГНФ, geotech@pstu.ac.ru.

Леонова Екатерина Григорьевна – студентка, ПНИПУ, ГНФ, гр. МД-12, katye94@mail.ru.