

А. А. Шоломицкий^{1}, Б. И. Филичук², Б. Н. Ахмедов³*

Практика построения и уравнивания подземных маркшейдерских сетей

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

²АО «Шахта Полосухинская», г. Новокузнецк, Российская Федерация

³Таджикский технический университет им. М.С.Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

*e-mail: sholomitskij@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены особенности построения и развития подземных маркшейдерских сетей в Кузнецком угольном бассейне. Выполнен анализ существующих требований к маркшейдерским измерениям и обработке первичной маркшейдерской информации, методам уравнивания, и дана оценка современного состояния развития маркшейдерских сетей. Отмечается что маркшейдерская нормативная документация устарела и не соответствует современному состоянию развития измерительных средств и методов выполнения маркшейдерских измерений. Контролирующие организации требуют от маркшейдерской службы использования «ручных» методов измерений и вычислений. На примере реальной подземной маркшейдерской сети типичной шахты Кузнецкого бассейна авторами выполнен анализ накопления погрешностей определения координат из предварительного расчета точности и фактического уравнивания сети и предлагаются критерии для оценки качества измерений и уравнивания сети.

Ключевые слова: подземные маркшейдерские сети, измерения, точность, предварительный расчет точности, метод наименьших квадратов

A. A. Sholomitskii^{1}, B. I. Filipchuk², B. N. Akhmedov³*

The practice of building and adjustment of underground surveying networks

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

²JSC Polosukhinskaya Mine, Novokuznetsk, Russian Federation

³Tajik Technical University named after M.S.Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

*e-mail: sholomitskij@mail.ru

Abstract. The article considers the features of the development of underground mine surveying networks in Kuzbass. The analysis of the existing requirements for surveying measurements and processing of primary surveying information, adjustment methods is carried out, and an assessment of the current state of development of surveying networks is given. Controlling organizations require the use of "manual" measurement and calculation methods from the surveying service. On the example of a real underground mine surveying network of a typical mine of the Kuznetsk basin, the authors analyzed the accumulation of errors in determining coordinates from a preliminary calculation of the accuracy and actual network adjustment and proposed criteria for assessing the quality of measurements and network adjustment.

Keywords: mine surveying underground networks, measurements, accuracy, preliminary calculation of accuracy, least squares method

Введение

Хотя с 1 января 2021 года отменена «Инструкция по производству маркшейдерских работ» [2], однако негласно она продолжает действовать, поскольку альтернативы или алгоритма действий пока нет. Маркшейдерия имеет давние консервативные традиции, которые были связаны с развитием приборной базы маркшейдерских измерений и математической обработки измерений.

«Инструкция по производству маркшейдерских работ» [2] во многом повторяла положения инструкции 1987 года [1], которая была достаточно прогрессивной для своего времени. Рекомендованные в ней методы измерений предполагали использование оптических теодолитов для угловых измерений и рулеток для измерения расстояний. По сути эта инструкция представляла собой обобщение опыта маркшейдерских производственных измерений. При этом все измерения заносились вручную в журналы измерений, обработка также выполнялась вручную в так называемом «ЖВК» – журнале вычисления координат. И это длится до сих пор, несмотря на появление цифровых электронных тахеометров и компьютеров для обработки измерений, и программ уравнивания маркшейдерских сетей.

Раздельное уравнивание маркшейдерских сетей в журнале вычисления координат приводит к уравниванию маркшейдерских сетей по частям, отдельными ходами. Такой подход не позволяет выполнить оценку точности измеренных величин и может привести к накоплению ошибок в сети. Иногда маркшейдерские сети развиваются отдельными участками от разных стволов и не соединяются между собой. Что сказывается при проведении горных выработок встречными забоями.

Еще одним фактором, сдерживающим применение цифровых технологий в маркшейдерии, является косность контролирующих организаций. Конечно, гораздо легче контролировать маркшейдерскую службу по формализованным признакам правильности заполнения журналов полевых измерений и журнала вычисления координат.

В Инструкции [2, §188], сказано, что вычисление и уравнивание полигонометрических ходов возможно выполнять на компьютерах, в программах, которые реализуют раздельное уравнивание сетей. Это положение неоднократно критиковалось [3]. В научной литературе отмечалось, что только метод наименьших квадратов в общей мере уменьшает величины случайных погрешностей.

В настоящее время появились сертифицированные программы уравнивания маркшейдерских и геодезических сетей, например, [3-5], которые реализуют метод наименьших квадратов. К сожалению, их применение при выполнении маркшейдерских работ ограничено, из-за требований контролирующих органов заполнять журналы измерений и журнал вычисления координат. Да и сама маркшейдерская служба горных предприятий является очень консервативной и не торопится к изменениям и нововведениям.

Еще одной важной задачей маркшейдерской службы является обоснование точности маркшейдерской опорной сети [4,6-8], которая может решаться различ-

ными методами, в том числе, автоматизировано с помощью программ, которые позволяют проектировать маркшейдерские сети и моделировать маркшейдерские измерения.

Предварительный расчет точности сбойки горных выработок также является задачей маркшейдерской службы, которая часто встречается на практике [1,10-11] и может быть решена, в том числе и в специализированном программном обеспечении [11].

Нельзя не отметить консервативность высшего образования РФ в маркшейдерии, учебники и учебные программы устарели, использование программного обеспечения для автоматизации маркшейдерских работ, проектирования и уравнивания маркшейдерских сетей находится на низком уровне.

Попытки различных ведомств создать новую маркшейдерскую инструкцию или профстандарт «Маркшейдер», к сожалению, идут по пути прежних инструкций – это попытки формализовать все до мелочей в используемых методиках и допусках. Хотя появляется новое оборудование с более высокими требованиями к точности установки и новые приборы, обеспечивающие более высокую точность измерений или изменяющие технологию выполнения работ. Проект производства маркшейдерских работ для предприятия мог бы быть альтернативой инструкции по производству маркшейдерских работ. Однако наблюдается достаточно формальный подход к таким проектам производства маркшейдерских работ, когда составление проекта перекладывается на сторонние организации, которые включают в себя все возможные маркшейдерские работы. И такие проекты тиражируются на все предприятия, зачастую без учета их специфики.

Можно констатировать, что для цифровизации маркшейдерии созрели все условия, имеются цифровые средства измерений, технологии обработки и хранения маркшейдерской информации. Однако есть вопросы, которые не были решены в инструкциях [1,2]. Они связаны с критериями оценки качества измерений и точностью определения координат точек сети. Связывать точность определения координат с графической точностью планов – это даже не вчерашний день, сейчас нужны другие критерии.

Следует отметить, что горные предприятия Кузбасса и подземные маркшейдерские сети имеют специфику. В отличие от Донецкого угольного бассейна, где шахтное поле вскрывается центральными стволами, и маркшейдерские сети развиваются от стволов. В Кузнецком угольном бассейне преимущественными геологическими структурами являются брахисинклинали, поэтому пласты вскрываются центральным наклонным стволом и одним или двумя фланговыми стволами. Зачастую имеется два или три полигонометрических хода, которые выходят на поверхность и соединяются между собой геодезическими и спутниковыми измерениями.

Анализ точности маркшейдерских подземных сетей.

Для анализа точности маркшейдерских подземных сетей в Кузнецком бассейне возьмем реальные сети по шахтным пластам и будем анализировать их реальную и ожидаемую точность. Ожидаемая точность будет определяться теми

же инструментами и методикой измерений, что и реальные сети [3-5,10-11]. Ожидаемая точность определения координат маркшейдерской сети определяется параметрами точности измерений при строгом предварительном расчете точности сети, который учитывает геометрию сети [4-5]. Обоснование принятых величин весов измерений и параметров для уравнивания приведено в [3], и свидетельствует, что для уравнивания по методу наименьших квадратов достаточно использовать паспортные величины точности измерений.

Для примера возьмем сеть по пласту 30, которая имеет два выхода на поверхность, 6 гирокоспических определений, длина сторон сети 18,44 км (рис. 1 и 2).

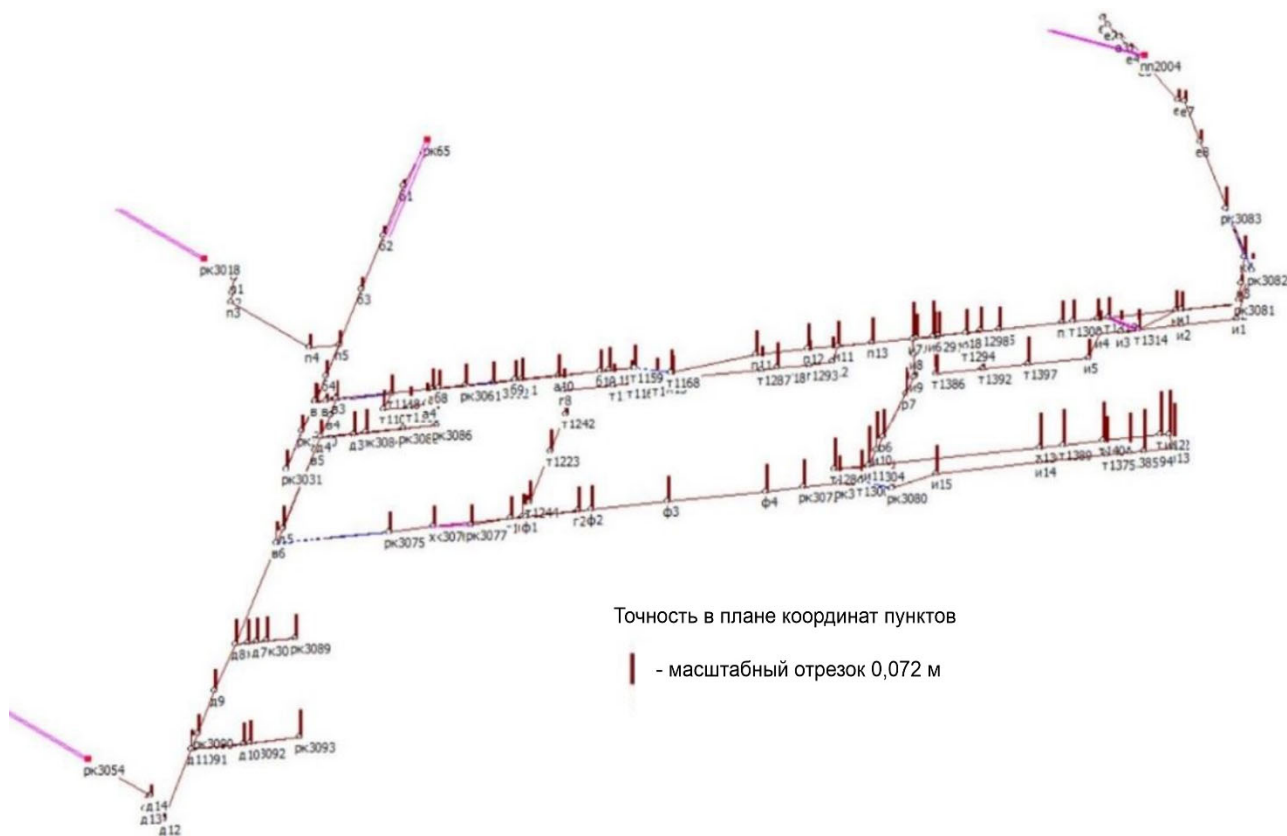


Рис. 1. Уравненная сеть по пласту 30

На рис. 1 и рис. 2 столбиковой диаграммой показаны ошибки плановых координат сети, уравненной по методу наименьших квадратов и ожидаемые ошибки плановых координат для той же сети, полученные из строгого предварительного расчета точности [10]. В левом нижнем углу рисунка приведен масштабный отрезок, который показывает величину плановых отклонений диаграммы. Розовой двойной линией показаны стороны гирокоспических определений. Все угловые и линейные измерения в приведенных примерах выполнялись взрывобезопасными электронными тахеометрами с точностью измерения углов 5", и длин $\pm 2 \text{ мм} + 2 \text{ мм/км}$. Гирокоспические определения выполнялись разными гирокомпасами, выполненными во взрывобезопасном исполнении, с паспортной точностью определения азимута 30" [9].

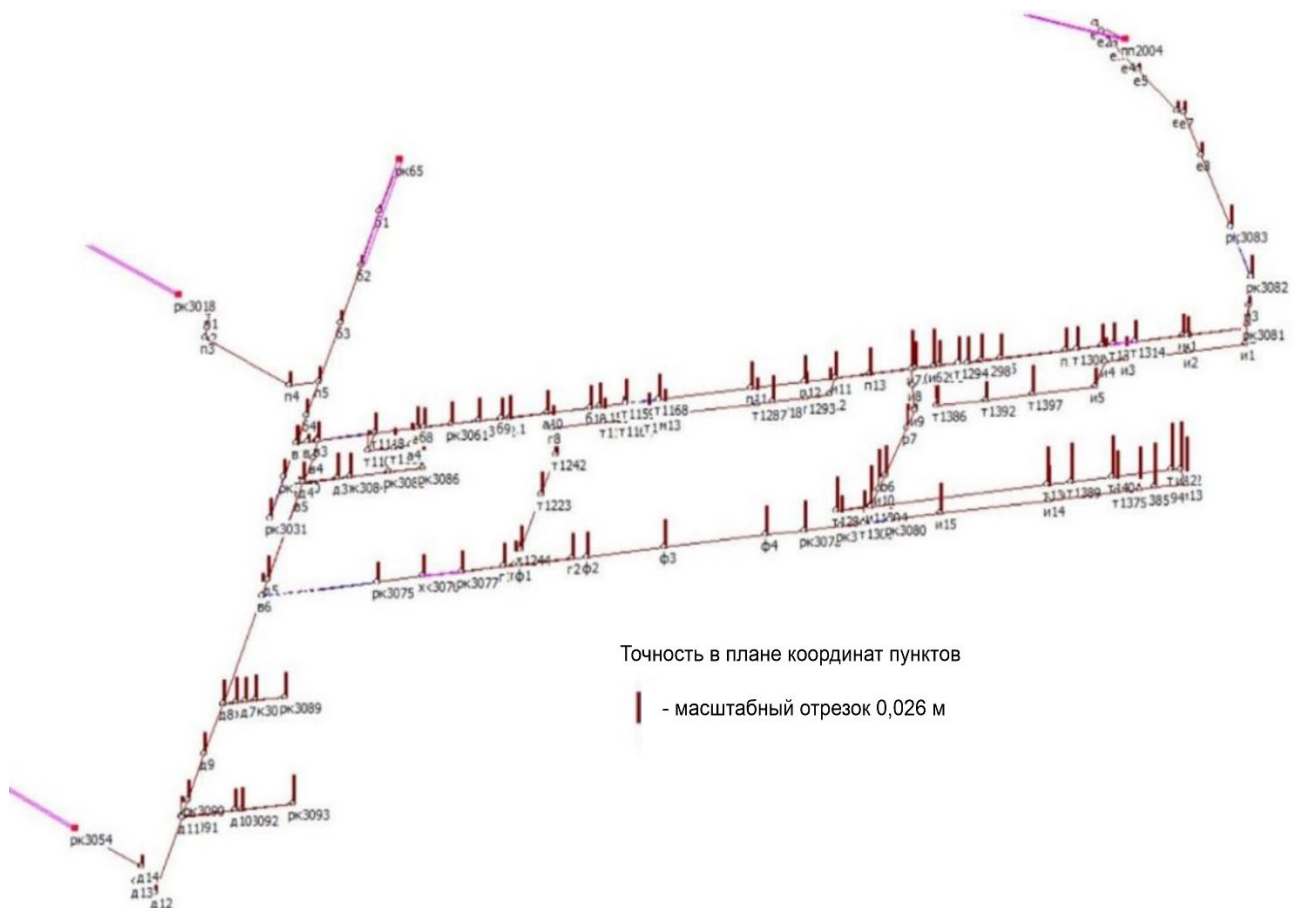


Рис. 2. Ожидаемая точность маркшейдерской сети пласта 30

Визуальный анализ диаграммы показывает закономерность накопления погрешностей определения координат, которая возрастает по мере удаления от жестких пунктов. Предрасчет показывает, что вероятная максимальная погрешность определения координат для этой сети не превышает 30 мм, а фактическая получилась менее 100 мм. Погрешность определения координат в 100 мм для сети 17,5 км это превосходный результат. Фактическая относительная невязка сети 1:40 000. Вычисленная ошибка единицы веса 14".

Такие же закономерности наблюдаются и на других подземных сетях угольных предприятий, причем погрешность определения плановых координат составляет от 30 мм до 60 мм, а вычисленные ошибки единицы веса угловых измерений составляют от 8" до 15".

Выводы и рекомендации

Практические работы авторов по проектированию и уравниванию маркшейдерских подземных сетей Кузбасса позволили обобщить свой опыт в следующем виде:

– маркшейдерские сети Кузбасса должны формироваться не в виде отдельных ходов, а в виде единой сети, которая должна уравниваться по методу наименьших квадратов, который дает объективную оценку точности определения координат;

- маркшейдерские подземные сети желательно замыкать на поверхности на одних и тех же пунктах государственной геодезической сети;
- нет единого четкого критерия, который позволяет сделать вывод о качестве измерений в маркшейдерской сети и отсутствии грубых ошибок. В качестве критериев оценки точности определения координат для сетей с суммарной длиной сторон менее 20 км можно использовать вычисленную ошибку единицы веса, которая дает общую характеристику качества угловых измерений сети, и которая не должна более чем в три раза превышать среднюю квадратическую погрешность измерения угла;
- фактическая относительная невязка не может служить критерием качества сети, т.к. может изменяться в очень больших пределах, а вот ожидаемая и фактическая точность определения плановых координат сети не должны отличаться более чем в два раза, и можно определить, что фактическая точность определения плановых координат для шахт Кузбасса не должна превышать 0,1 м;
- в некоторых случаях высокая точность определения плановых координат может быть достигнута и без применения гирскопических определений, но авторы рекомендуют, что сети в виде полигонометрических ходов необходимо разбивать на секции сторонами с гирскопическими определениями азимута через каждые 20 станций. Это позволит не только повысить точность маркшейдерских сетей, но и облегчит нахождение ошибок измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ. Министерство угольной промышленности СССР, ВНИМИ. – М.: Недра, 1987. – 240 с. (не действует с 2003 г.).
2. РД 07-603-03 Инструкция по производству маркшейдерских работ. НТЦ "Промышленная безопасность" № 2004, Серия 07, Выпуск 15, «Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль», – М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004. – 120 с. (отменена с 1.01.2021).
3. Могильный С.Г., Шоломицкий А.А., Филипчук Б.И. Обоснование выбора весов измерений при уравнивании маркшейдерских подземных опорных сетей // Маркшейдерия и недропользование, №6 (98), ноябрь-декабрь 2018, – С. 41–46.
4. Сайт программного комплекса «МГСети» – [Электронный ресурс]/.– Режим доступа: <http://mgseti.ru> (дата обращения 20.04.2023).
5. Могильный С.Г., Шоломицкий А.А., Середович А.В. Принципы построения и уравнивания опорных подземных маркшейдерских сетей // Маркшейдерия и недропользование, №6 (80), ноябрь-декабрь 2015, – С. 51–56.
6. Загibalов А. В., Данченко О. В. Оценка погрешностей полигонометрических ходов методами математического моделирования // Вестник Иркутского государственного технического университета 2012, № 7, – С. 94–100
7. Гордеев В.А., Раева О.С. Анализ точности вытянутых теодолитных ходов // Известия Уральской государственной горно-геологической академии. Сер.: Горное дело. – 2000. – Вып. 11. – С. 231–239.
8. A Sholomitskii, E Lagutina Design and preliminary calculation of the accuracy of special geodetic and mine surveying networks International science and technology conference "Earth science", IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 272 (2019) 022010 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/272/2/022010.

9. Могильный С.Г., Шоломицкий А.А., Афанасьева С.М. Гироскопия – прошлое и будущее подземных опорных маркшейдерских сетей // Маркшейдерия и недропользование, №1 (93), январь-февраль 2018, – С. 36–41.

10. Коробков С.А., Голованов В.А. Предрасчёт сбоек горных выработок на основе векторных ошибок Записки Горного института. Маркшейдерское дело и геодезия, том № 146, Санкт-Петербург, – 2001, – С. 39–41.

11. Шоломицкий А.А., Филипчук Б.И. Автоматизация предрасчета точности сбойки горных выработок // Маркшейдерия и недропользование, № 6, 2020, – С. 53–56.

© А. А. Шоломицкий, Б. И. Филипчук, Б. Н. Ахмедов, 2023