

ПОДЗЕМНЫЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ СЕТИ КУЗБАССА. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

А.А. Шоломицкий (СГУГиТ, Новосибирск)

В 1980 г. окончил горно-геологический факультет Донецкого политехнического института (Донецкий национальный технический университет — ДонНТУ) по специальности «горный инженер-маркшейдер». Затем работал в ДонНТУ. С 2014 г. работает в Сибирском государственном университете геосистем и технологий (СГУГиТ), в настоящее время — профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела. Доктор технических наук, профессор.

Б.И. Филипчук (АО «Шахта Полосухинская», Новокузнецк)

В 1975 г. окончил горный факультет Кузбасского политехнического института (Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва, Кемерово) по специальности «маркшейдерское дело». После окончания института работал в «Союзмаркштрест», с 1979 г. — в «Бюро специализированных маркшейдерских работ». С 1992 г. работает в АО «Шахта Полосухинская», в настоящее время — заместитель главного маркшейдера.

На основании Постановления Правительства РФ от 06.08.2020 г. № 1192 Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03) [1] 1 января 2021 г. была отменена. Однако отсутствие этого документа и заменяющих его федеральных норм и правил ощущается до сих пор. Маркшейдерия имеет давние консервативные традиции, которые были связаны с неспешным развитием приборной базы и средств математической обработки результатов измерений. В последние десятилетия идет переход к цифровому приборостроению и компьютерной обработке маркшейдерской информации.

Следует отметить, что отмененная инструкция 2003 г. [1] во многом повторяла положения инструкции по производству маркшейдерских работ 1987 г. [2], которая была достаточно прогрессивной для своего времени. Рекомендованные в ней методы измерений предполагали использование опти-

ческих теодолитов для угловых измерений и рулеток для измерения расстояний. По сути она представляла собой обобщение опыта маркшейдерских производственных измерений. При этом все результаты измерений и их обработки заносились вручную в журналы измерений и журнал вычисления координат, так называемый «ЖВК». И это длится до сих пор, несмотря на появление электронных тахеометров, компьютеров для обработки результатов измерений и программ уравнивания маркшейдерских сетей.

Раздельное уравнивание маркшейдерских сетей в журнале вычисления координат выполняется 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. Это сказывается при проведении сбоек

горных выработок встречными забоями.

Еще одним фактором, сдерживающим применение цифровых технологий в маркшейдерии, является косность контролирующих организаций. Конечно, гораздо легче осуществлять мониторинг деятельности маркшейдерской службы по формализованным признакам — правильности заполнения журналов полевых измерений и журнала вычисления координат.

В §188 РД 07-603-03 [1] сказано, что вычисления и уравнивания полигонометрических ходов можно выполнять на компьютере, 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 маркшей-

дерских и геодезических сетей, которые реализуют метод наименьших квадратов [3–5]. К сожалению, их практическое применение в маркшейдерской практике очень ограничено из-за требований контролирующих органов заполнять журналы измерений и журнал вычисления координат. Да и сами маркшейдерские службы горных предприятий являются достаточно консервативными.

Еще одной важной задачей маркшейдерской службы является обоснование точности маркшейдерской опорной сети [4, 6–8], которая может решаться различными методами, в том числе автоматизированно с помощью программ, позволяющих проектировать маркшейдерские сети и моделировать маркшейдерские измерения.

Предварительный расчет точности сбойки горных выработок — также задача маркшейдерской службы, которая часто встречается на практике [2, 9–10] и может быть решена, в том числе и в специализированном программном обеспечении [10].

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

Различные ведомства при попытках создать новую маркшейдерскую инструкцию или профстандарт «Маркшейдер», к сожалению, идут по пути прежних инструкций — формализовать все до мелочей в используемых методиках и допусках. Хотя появляется новое горное оборудование с более высокими требованиями к точности установки и новые маркшейдерские приборы, обеспечи-

вающие высокую точность измерений или изменяющие технологию выполнения работ. Проект производства маркшейдерских работ для предприятия мог бы стать альтернативой инструкции по производству маркшейдерских работ. Однако наблюдается достаточно формальный подход к проектам производства маркшейдерских работ, когда составление проекта перекладывается на сторонние организации, которые включают в него 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 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, нужны другие критерии.

Следует отметить, что подземные маркшейдерские сети горных предприятий Кузнецкого угольного бассейна (Кузбасс) имеют свою специфику. В отличие от Донецкого угольного бассейна, где шахтное поле вскрывается центральными стволами и маркшейдерские сети развиваются от стволов, в Кузнецком угольном бассейне основными 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 увязываются между собой по

данным геодезических и спутниковых измерений.

▼ Анализ точности подземных маркшейдерских сетей Кузбасса

Для анализа точности маркшейдерских подземных сетей в Кузнецком угольном бассейне рассмотрим существующие сети по шахтным пластам и будем анализировать их фактическую и ожидаемую точность. Ожидаемая точность будет рассчитываться с учетом инструментов и методик измерений, применяемых в существующих сетях [3–5, 9–10]. Ожидаемая точность 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. Все угловые и линейные измерения в приведенных ниже примерах выполнялись взрывобезопасными электронными тахеометрами с точностью измерения углов 5" и длин сторон $\pm 2 \text{ мм} + 2 \text{ мм/км}$. Гироскопическое ориентирование горных выработок проводилось разными взрывобезопасными гирокомпасами, имеющими точность определения азимута сторон 30" [11].

Сеть по пласту 30 имеет длину 18,44 км и два выхода на поверхность. В сети было выполнено шесть гироскопических определений азимута сторон (рис. 1 и 2).

На рис. 1 и 2 в виде столбчатых диаграмм показаны ошибки плановых координат сети, уравниваемой по методу наименьших квадратов, и ожидаемые ошибки плановых координат для той

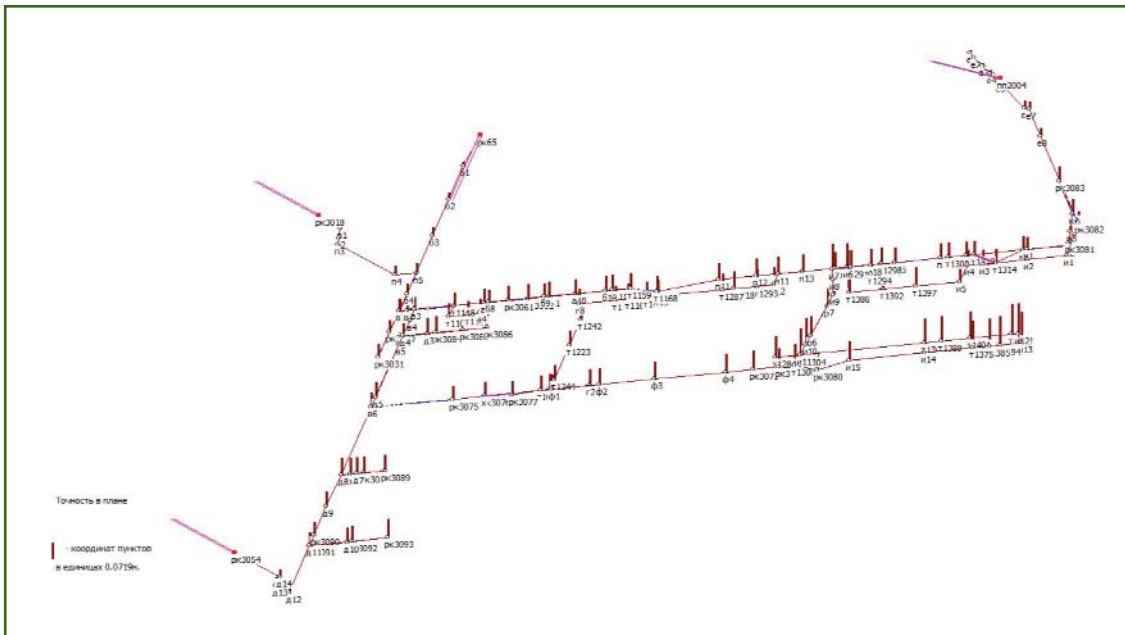


Рис. 1
Уравненная сеть по пласту 30

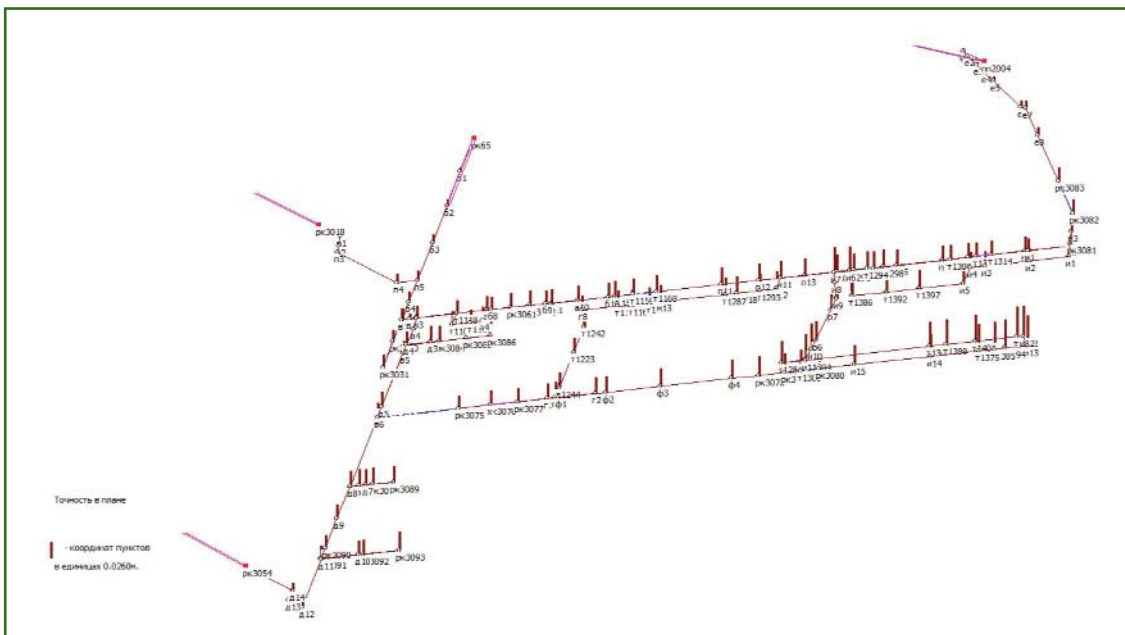


Рис. 2
Ожидаемая точность маркшейдерской сети по пласту 30

же сети, полученные из строго предварительного расчета точности [10]. В левом нижнем углу рисунков приведен масштабный отрезок, который показывает величину плановых отклонений координат на диаграммах. Двойной линией розового цвета обозначены стороны сети, на которых выпол-

нены гироскопические определения азимута.

Визуальный анализ диаграмм показывает закономерность накопления погрешностей определения координат, которая возрастает по мере удаления от жестких пунктов. Предварительный расчет выявил, что ожидаемая макси-

мальная погрешность определения координат для этой сети не превышает 30 мм, а фактическая — составляет менее 100 мм. Хотя, 100 мм на 17,5 км — это превосходный результат. Фактическая относительная невязка сети 1:40 000. Вычисленная ошибка единицы веса 14”.

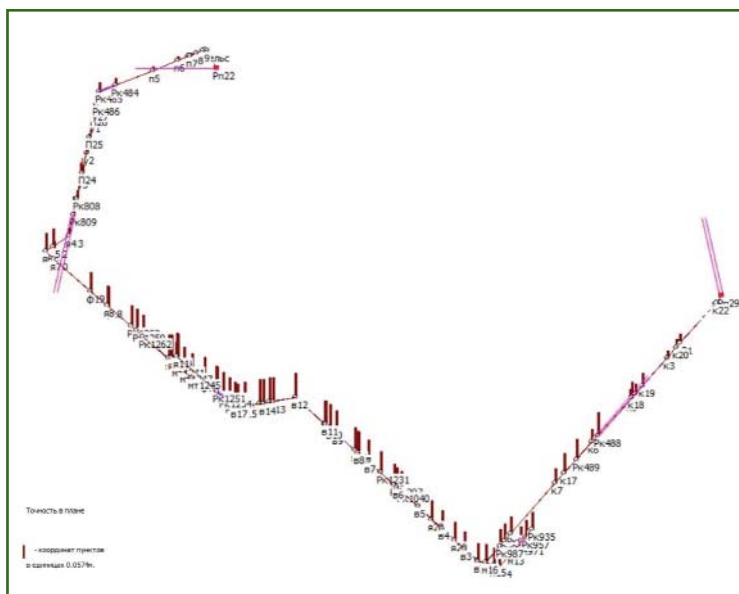


Рис. 3
Уравненная сеть по пласту 29

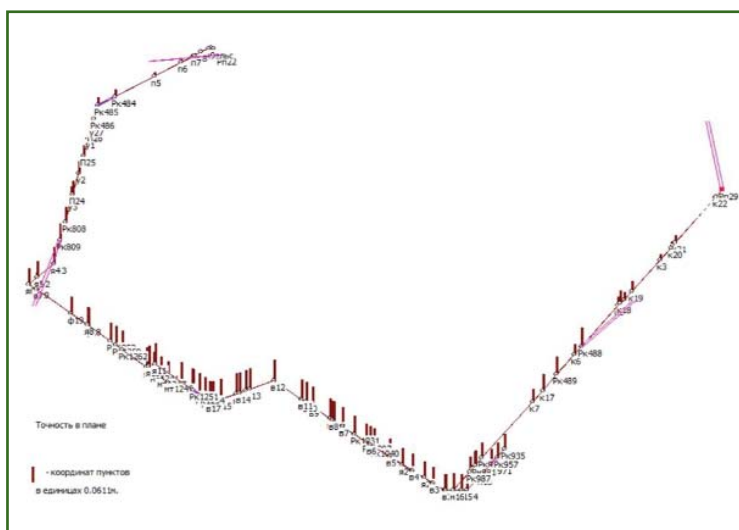


Рис. 4
Ожидаемая точность маркшейдерской сети по пласту 29

Сеть по пласту 29 длиной 17,52 км с шестью гироскопическими определениями азимута сторон приведена на рис. 3–4.

Ожидаемая и фактическая точность определения плановых координат сети по пласту 29 получились примерно одинаковыми, около 60 мм, фактическая относительная невязка — 1:8100. Вычисленная ошибка единицы веса составила 5,2″.

Сеть по пласту 42 длиной 16,58 км с шестью гироскопическими определениями азимута сторон приведена на рис. 5–6.

Вычисленная ошибка единицы веса составила 12,0″, а фактическая относительная невязка — 1:3500. Ожидаемая и фактическая точности определения плановых координат сети отличаются более чем в два раза: фактическая — 138 мм, ожидаемая — 58 мм.

▼ Выводы и рекомендации

Практические работы авторов по проектированию и уравниванию подземных маркшейдерских сетей Кузбасса позволили обобщить накопленный опыт и сделать следующие выводы и рекомендации.

1. Маркшейдерские сети Кузбасса необходимо формировать не в виде отдельных ходов, а в виде единой сети, которая должна уравниваться по методу наименьших квадратов, который позволяет получить объективную оценку точности определения координат.

2. Подземные маркшейдерские сети желательно замыкать на поверхности на одних и тех же пунктах государственной геодезической сети.

3. 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 два раза превышать среднюю квадратическую погрешность измерения угла.

4. Фактическая относительная невязка не может служить критерием качества сети, так как она может изменяться в очень больших пределах, а вот ожидаемая и фактическая точности определения плановых координат сети не должны отличаться более чем в два раза, т. е. фактическая точность определения плановых координат для шахт Кузбасса не должна превышать 0,1 м.

5. В некоторых случаях высокая ожидаемая точность определения плановых координат может быть достигнута и без применения гироскопических

определений азимута сторон, но авторы рекомендуют разбивать сети на секции в виде полигонометрических ходов (рис. 3, 4) и выполнять гироскопические определения азимута сторон через каждые 20 станций. Это позволит не только повысить точность маркшейдерских сетей, но и облегчит нахождение ошибок измерений.

▼ Список литературы

1. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). Серия 07. Выпуск 15 / Колл. авт. — М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004. — 120 с. (отменена 1.01.2021 г.).

2. Инструкция по производству маркшейдерских работ / Министерство угольной промышленности СССР. Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела. — М.: Недра, 1987. — 240 с. (не действует с 2003 г.).

3. Могильный С.Г., Шоломицкий А.А., Филипчук Б.И. Обоснование выбора весов измерений при уравнивании маркшейдерских подземных опорных сетей // Маркшейдерия и недропользование. — 2018. — № 6(98), ноябрь-декабрь. — С. 41–46.

4. Программный комплекс «Маркшейдерско-геодезические сети» (МГСети). — <http://mgseti.ru>.

5. Могильный С.Г., Шоломицкий А.А., Середович А.В. Принципы построения и уравнивания опорных подземных маркшейдерских сетей // Маркшейдерия и недропользование. — 2015. — № 6(80), ноябрь-декабрь. — С. 51–56.

6. Загибалов 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-геоло-

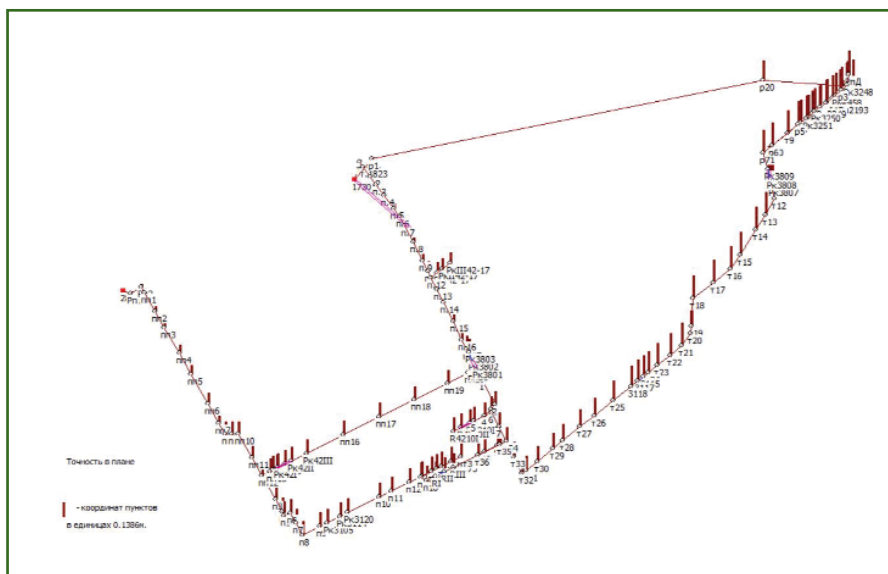


Рис. 5
Уравненная сеть по пласту 42

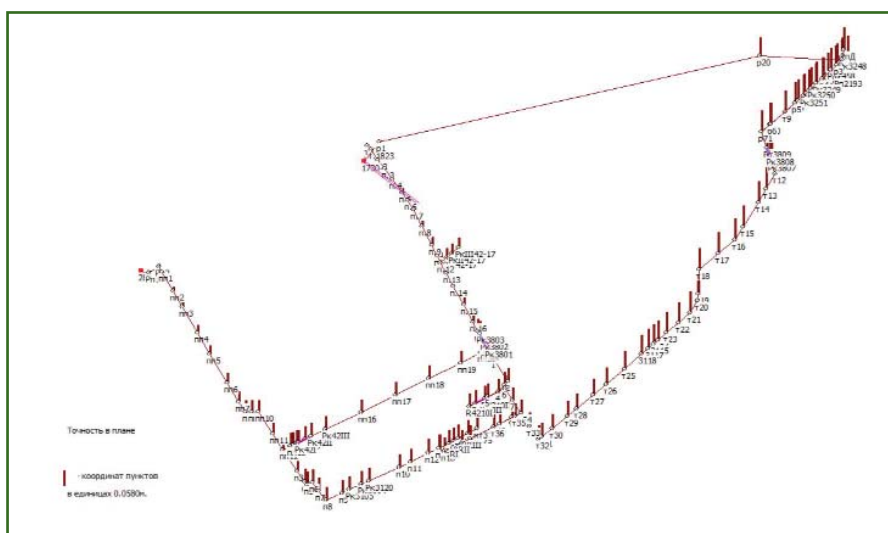


Рис. 6
Ожидаемая точность маркшейдерской сети пласта 42

гической академии. Сер.: Горное дело. — 2000. — Вып. 11. — С. 231–239.

8. Sholomitskii A., Lagutina E. 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. — 2019. — Vol. 272. — P. 022010.

9. Коробков С.А., Голованов В.А. Предрасчет сбоек горных выработок на основе векторных ошибок // Записки Горного института. Маркшейдерское дело и геодезия. —

Т. 146. — Санкт-Петербург, 2001. — С. 39–41.

10. Шоломицкий А.А., Филипчук Б.И., Володин С.В. Автоматизация предрасчета точности сбоек горных выработок // Маркшейдерия и недропользование. — 2020. — № 6(110), ноябрь-декабрь. — С. 53–56.

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