

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДОВ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Преподаватель Кузьмич В. А.

Научный руководитель – к.т.н, доцент, Кологривко А. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Маркшейдерское обеспечение является неотъемлемой частью горного производства. Так, потеря опорных маркшейдерско-геодезических сетей, вызываемая технологией ведения горных работ, требует постоянной реконструкции и анализа точности построенных или проектируемых сетей. В геодезическо-маркшейдерских сетях часто наблюдается увеличение погрешностей определения положения пунктов и дирекционных углов по мере их удаления от исходных пунктов, что объясняется малым количеством избыточных исходных данных. Сети часто бывают такой формы, которая не оптимальна по накоплению погрешностей. В сетях зачастую вынуждено чередуются короткие и длинные стороны, что приводит к значительным колебаниям погрешностей угловых и линейных измерений.

В практике ведения маркшейдерских работ широко применяется высокоточная спутниковая аппаратура, оптико-электронные приборы. Имеется большой арсенал программного обеспечения, позволяющего обрабатывать результаты измерений. При математической обработке появились возможности выявления недостатков местных и условных систем координат. Создание опорного маркшейдерского обоснования и контроль его геометрических элементов может проводиться при меньших затратах времени и труда. Комплексы спутниковой геодезии позволяют успешно развивать опорное обоснование с привязкой маркшейдерских сетей непосредственно к пунктам государственной геодезической сети (далее – ГГС), находящихся на значительном удалении.

Практика показывает, что на территории Республики Беларусь при открытой разработке месторождений маркшейдеру нет необходимости применять высокоточную дорогостоящую аппаратуру. Достаточно иметь в приборном обеспечении теодолит типа 2Т-30, так как карьерные поля имеют небольшие размеры и для выполнения съемок достаточно точности самого прибора. Поэтому указанный тип прибора актуален в настоящее время и вызывает как практический так и научный интерес.

Для выполнения основной задачи маркшейдерской службы при ведении подземных горных работ – передачи дирекционного угла и высотной отметки в подземные горные выработки, наиболее перспективным остаются гироскопические методы ориентирования. Отметим, что, например, в ФГУП НПОА «ОКБ Автоматика» (Российская Федерация, Екатеринбург) создан не имеющий в мире аналогов волоконно-оптический гирокомпас ВОГК-2 [1].

Основой маркшейдерско-геодезического обоснования горных предприятий являются пункты ГГС. Как правило, предприятия располагаются на удалении от них. Здесь возникает необходимость решения задач передачи координат от ГГС на сети горнодобывающих предприятий. Актуальными являются случаи, когда система координат не имеет математического обоснования. Либо существуют внесистемные координаты, когда пренебрегают кривизной земной поверхности. Пункты маркшейдерско-геодезической основы попадают в зоны сдвижений и деформаций от их подработки горными работами. Здесь имеет место задача восстановления маркшейдерско-геодезических сетей (например, необходим анализ стабильности их центров). Могут быть применены различные методики, в том числе и мониторинг их пространственного положения от пунктов ГГС. В этом случае необходимо решать задачу преобразования (связи) систем координат, а также анализировать значимость имеющих место изменений пространственного положения центров пунктов маркшейдерско-геодезического обоснования [2]. Переход из одной системы в другую осуществляется с использованием параметров перехода – ключей (формулы и правила, по которым координаты точек одной системы можно получать в другой системе). В реальных условиях существует задача поиска ключей.

Способы и оборудование маркшейдерских съемок подземных и открытых горных работ различны. Поэтому целесообразно выде-

лять три группы методов маркшейдерско-геодезического обеспечения горнодобывающих предприятий и привести конкретные результаты исследований их исследований.

Результаты исследований методов маркшейдерско-геодезического обеспечения открытой разработки месторождений.

1. Моделирование процесса накопления погрешности дирекционного угла.

Для осуществления маркшейдерских работ на карьере важным является развитие методов создания и обработки информации при построении подходной полигонометрии от пунктов ГГС. Для осуществления данного вида работ в маркшейдерских службах применяется теодолит типа 2Т-30. Установление закономерностей накопления погрешностей при измерении горизонтальных углов в реальных условиях и сравнить с теоретическими расчетами определяет актуальность исследований. Для этого смоделирован процесс накопления погрешности дирекционного угла по мере удаления полигонометрического хода. Ход висячий, включал в себя 316 сторон. В работе [3] представлены результаты измерений и вычислений, показано накопление погрешности дирекционного угла, соответствующее системе измерений. Погрешность накапливается по периодической схеме. Прослеживается наличие устойчивой систематической погрешности. Зона накопительных погрешностей значительно меньше, чем теоретически рассчитанная.

2. Установление погрешности измерения горизонтальных углов.

Поставлен эксперимент по установлению реальной погрешности измерения горизонтальных углов теодолитом типа 2Т-30. Произведено 100-кратное измерение горизонтальных углов одним приемом на учебном полигоне. Визирование производилось на специальную марку, состоящую из трех штрихов. Схемы экспериментального полигона и марки, а также статистическая обработка результатов измерений представлены в статье [4]. В результате исследований установлено, что погрешность единичного измерения угла по среднему штриху марки колеблется в пределах $80''$ при среднем квадратическом значении $30,04''$ (что соответствует паспортной характеристике данного типа теодолита), по трем штрихам марки колеблется в пределах $60''$ при среднем квадратическом значении $19,8''$. Просматривается эффект марки. Отмечается систематическое отклонение в пределах $1''$, которое можно рассматривать, как случай-

ное, связанное с небольшим объемом выборки ($N = 323$). Статистическое распределение погрешности подчинено нормальному закону распределения.

3. Оценка точности измерения горизонтальных углов.

Произведена оценка погрешности измерения горизонтальных углов теодолитом 2Т-30 с позиции замкнутой системы. Была проведена единовременная опытная серия измерения горизонтальных углов одним приемом. В качестве визирной цели выступала специальная марка, как и в предыдущем опыте. Схема измерения углов на точке стояния и сводные данные по оценке погрешностей измерения горизонтальных углов в опытной серии наблюдений представлены в статье [5].

Средняя квадратическая погрешность измерения угла одним полным приемом при наведении на средний штрих марки, составила 15-20", что устойчиво входит в интервал технической характеристики инструмента этого типа (30"). Измерение угла методом замкнутой системы в 1,5-2 раза снижает погрешность по отношению к существующей методике измерений, а использование марки в 2-2,6 раза. В данной серии наблюдений систематической ошибки не наблюдалось, а среднеквадратическая погрешность визирования составила 10-11", что находится в соответствии с существующей оценкой 9-15".

Таким образом, разработкой и обоснованием методики можно добиться достаточно надежных результатов измерения углов.

Результаты исследований методов маркшейдерско-геодезического обеспечения подземной разработки месторождений.

1. Определение количества гиросторон в маркшейдерских сетях.

При построении подземных маркшейдерских опорных сетей в полигонометрические ходы включают гиростороны. Для повышения точности рассчитывается оптимальное число гиросторон и выбирается место их расположения. Предлагается расчет необходимого количества гиросторон для вытянутого хода по принципу равных влияний ошибок ориентирования и угловых измерений на ошибку положения конечной точки хода [6]. При равной точности гироскопического ориентирования и угловых измерений количество гиросторон является достаточно большим – примерно каждая 10-я сторона хода. При 3-х гиросторонах – по концам и середине хода, при 2-х – по концам хода.

2. Исследование первоначальной информации, выдаваемой гироскопасом ВОГК-2.

Передача дирекционного угла и координат опорных пунктов с поверхности в шахту является важной и ответственной работой. От точности выполненных работ зависит надежность проведения выработок. При ориентировании глубоких горизонтов одним из основных методов остается гироскопическое ориентирование. Специалисты филиала ФГУП НПОА «ОКБ Автоматика» (Российская Федерация, Екатеринбург) провели НИОКР «Галактика» по созданию волоконно-оптического гироскопа на основе связанного изотропного одномодового оптического волокна [1, 7-9]. В результате создан не имеющий в мире аналогов волоконно-оптический гироскопас ВОГК-2, предназначенный для определения дирекционного угла заданного направления при установке его на неподвижном относительно Земли основании. В основе работы волоконно-оптического гироскопаса лежит эффект Саньяка – появление фазового сдвига встречных световых волн во вращающемся кольцевом интерферометре. Основные области применения: маркшейдерские работы и системы ориентирования специального назначения (поисковые и спасательные работы, ориентирование на местности, недоступной спутниковой навигации и магнитным компасам).

Было проведено исследование первоначальной информации, выдаваемой гироскопасом ВОГК-2. Фундаментом для исследования данных взяты методические основы анализа динамических рядов, разработанные профессором А.В. Гальяновым (Уральский государственный горный университет, Екатеринбург) [8]. Динамический ряд в данном случае представляет собой последовательность параметров, записанных в файлах в Блокноте. Измерения проводились в лабораторных условиях. Далее производилась обработка результатов измерений по предложенной методике. Всего обрабатывалось 40 серий наблюдений [9]. Под анализ данных попали измерения, которые необходимо было бы в реальных условиях отнести к «плохим».

В результате анализа данных и расчетов была получена развернутая геометрическая характеристика первоначальной информации, выдаваемой гироскопасом ВОГК-2. Представленный геометрический анализ первоначальной информации, выдаваемой гироскопасом ВОГК-2, позволил оценить получаемую информацию как слу-

чайный процесс и выявить закономерности в нем. Распределения полупериодов, амплитудное распределение, нормированная спектральная плотность и спектральная функция динамических рядов первоначальной информации подчиняются законам распределения и гармонируют с методическими основами анализа динамических рядов, что позволяет оценить результаты измерений дирекционного угла рассматриваемым прибором как технологически правильный процесс. Отклонения сигнала от среднего значения колеблются в допустимых пределах. Новейший волоконно-оптический гирокомпас ВОГК-2 может быть рекомендован при ориентировании глубоких горизонтов. Гирокомпас ВОГК-2 надежен и удобен в использовании, установка прибора и определение дирекционного угла производится в течение нескольких минут.

Результаты исследований методов маркшейдерско-геодезического обеспечения строительства горных предприятий.

1. Метод «свободной станции».

При слежении за сохранностью маркшейдерских пунктов и их восстановлении при строительстве карьеров и рудников рекомендуем применять метод «свободной станции» для упрощения и дополнения данного вида работ [10]. Метод состоит в том, что положение точки установки тахеометра выбирается оптимальным для координирования и ориентирования прибора, и для передачи координат и высот на контрольные точки. Необходимо иметь минимум три исходных пункта. Благодаря этому, производится оценка точности и контроль стабильности исходных пунктов. С одной станции возможно производить координирование и разбивку любого числа видимых точек. Также производятся уравнивательные вычисления и дается оценка точности результатов измерений.

2. Метод наименьших квадратов.

При разработке месторождений необходимо производить проектные и строительные работы, ориентировать горные выработки в пространстве, знать о точном местоположении объектов горной промышленности. Из-за подработки часть пунктов теряется, что создает условия необходимости их восстановления. Кроме того с течением времени на горном предприятии идет пополнение планов. Необходимо устанавливать связь условных систем координат с системой, в которой вычислены пункты опорного маркшейдерско-

геодезического обоснования. Преобразование систем координат является неотъемлемой частью ведения горных работ [11].

В этой связи выполнены исследования по применению метода наименьших квадратов для осуществления связи между системами координат. Данный метод дает количественные вероятнейшие значения и их интервальные оценки. В задачу исследования входило проанализировать влияние расположения пунктов, их числа, расположения связующих точек на параметры преобразования и их точность. Работа проводилась на моделях. Координаты точек некоторой системы $O'X'Y'$ преобразовывались в другую систему OXY . Для объективной оценки эффективности алгоритма преобразования систем координат исследования проводились на моделях, когда известны истинные значения координат и параметры связи. Все вычисления производились в программе Excel. Зависимость между координатами точек систем устанавливалась с помощью формул аналитической геометрии.

Были взяты точные параметры преобразования m , a , b , α , относительно которых вычислили точные значения координат данных пунктов в системе $O'X'Y'$. С помощью генератора случайных чисел исказили эти значения. По предложенному методу нашли приближенные значения параметров преобразования, затем вероятнейшие поправки в координаты и, после введения этих поправок в искаженные значения координат в систему $O'X'Y'$, получили вероятнейшие значения координат условной системы для преобразования в систему OXY . Отклонение вероятнейших значений от истинных показывает, на сколько эффективен метод при различных условиях.

Рассматривали разное количество пунктов в системе (8 пунктов, 10 пунктов, 16 пунктов, 50 пунктов и 100 пунктов), а так же различное положение связующих точек относительно этих пунктов.

В результате проделанной работы замечено, что искаженные значения параметров преобразования и координат пунктов значительно приближаются к истинным, что свидетельствует о работе метода наименьших квадратов. Увеличение количества пунктов оказывает влияние на вычисленные вероятнейшие значения параметров преобразования. Данный факт подлежит дальнейшему исследованию. Увеличение количества пунктов не оказывает значительного влияния на точность преобразования. Расположение связующих точек влияет на значения поправок к координатам и

параметрам преобразования. Чем дальше удалены связующие пункты друг от друга по координатам, тем точнее параметры преобразования и ближе к истинным значения координат пунктов. Расположение самих пунктов (сгруппированное или рассредоточенное) также влияет на значения поправок к координатам и параметрам преобразования. Чем их положение более сосредоточенное, тем ближе к истинным параметры преобразования и координаты пунктов. Хорошие результаты получаются, когда имеется достаточно большое количество пунктов с известными координатами; эти пункты должны быть сгруппированы как можно ближе друг к другу (хотя бы по одной из координат (x или y)), а связующие точки наоборот разнесены как можно дальше.

Выводы. Изучение и анализ методов маркшейдерско-геодезического обеспечения горнодобывающих предприятий, позволили развить исследования по созданию и развитию планово-высотного обоснования горнодобывающих предприятий, обобщение результатов которых позволяет заключить об установлении реальной погрешности измерения горизонтальных углов; производстве оценки точности измерения горизонтального угла теодолитом 2Т-30 с позиции замкнутой системы, что дает новые возможности применения не дорогих теодолитов при развитии полигонометрических ходов на дневной поверхности; рекомендации новейшего гироскопа ВОГК-2 для условий ориентирования глубоких горизонтов; применении метода наименьших квадратов для осуществления связи между системами координат.

Литература

1. Волоконно-оптический гирокомпас ВОГК-2. Патент № 2340875 / Л. Шалимов, А. Штыков, Н. Манько, Г. Шестаков.
2. Подшивалов, В.П. Анализ точности преобразования систем координат методом наименьших квадратов / В.П. Подшивалов, В.А. Кузьмич // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2013. – №16. – с. 109–116.
3. Цыганова, В.А. (Кузьмич В.А.) Геометрическая интерпретация накопления погрешности дирекционного угла последней стороны полигонометрического хода / В.А. Цыганова (Кузьмич В.А.), А.С. Юсупова // Материалы научно-промышленного симпозиума «Уральская горная школа – регионам», 12-21 апреля 2010 г., Екатеринбург, Уральский гос. горный ун-т. – с. 214-215.
4. Цыганова, В.А. (Кузьмич В.А.) Экспериментальные данные по многократному измерению горизонтальных углов / В.А. Цыганова (Кузьмич В.А.), А.С. Юсупова // Материалы V Всероссийской молодежной научно-практической конференции с участием иностранных ученых «Проблемы недропользования», 8-11 февраля 2011 г. ИГД УрО РАН. – с. 509-512.
5. Юсупова, А.С. Оценка погрешности измерения горизонтальных углов / А.С. Юсупова, В.А. Цыганова (Кузьмич В.А.) // Материалы V Всероссийской молодежной научно-практической конференции с участием иностранных ученых «Проблемы недропользования», 8-11 февраля 2011 г. ИГД УрО РАН. – с. 513-517.
6. Гордеев, В.А. Оптимизация количества гиросторон в маркшейдерских сетях подземных горных выработок / Гордеев В.А., Бадюлин А.П., Копусова О., Кузьмич В.А. // Материалы международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития маркшейдерского дела», 8-10 ноября 2010 г. С. 58-59.
7. Шалимов, Л. Ноу-Хау уральских разработчиков / Л. Шалимов, А. Штыков, Н. Манько, Г. Шестаков // Деловая Россия. – 2010, № 10. с. 30-31.
8. Гальянов, А.В. Теоретические основы геометризации процессов в горном деле: научная монография / А.В. Гальянов; Уральский государственный горный университет – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – 250 с.

9. Кузьмич, В.А. Геометрический анализ информации, выдаваемой гирокомпасом ВОГК-2 / В.А. Кузьмич, А.А. Кологривко, А.Н. Штыков // Горная механика и машиностроение. – 2013. – №4. – с. 19–27.

10. Кузьмич, В.А. Применение метода «свободной станции» для решения инженерно-геодезических задач / В.А. Кузьмич // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : материалы 8-ой Междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, Тула, 1-2 нояб. 2012 г.: в 2 т. / Тул. гос. ун-т; ред.: Р.А. Ковалев. – Тула, 2012. – Т. 1. – с. 347-350.

11. Подшивалов, В.П. Оценка параметров преобразования координат на плоскости методом наименьших квадратов / В.П. Подшивалов // Автоматизированные технологии изыскания и проектирование, – 2010. – №7. – с. 69-71.