

Платоненко Сергей Михайлович
АО «УГОК», г. Учалы

ms_platonenko_sm@ugok.ru
ул. Горнозаводская, д.2, г. Учалы,
Башкортостан Респ, Россия, 453700
+7 (34791) 9 55 39



Белячков Сергей Владимирович
Главный маркшейдер УПР УМР АО "УГОК"
Учалинский ГОК, г. Учалы, Россия

upr_belyachkov_sv@ugok.ru
ул. Горнозаводская, д.2, г. Учалы,
Башкортостан Респ, Россия, 453700
+7 (34791) 9 55 39



Кольцов Павел Викторович
заведующий лабораторией ОАО "Уралмеханобр",
НЧОУ ВО «Технический университет УГМК»
Кандидат технических наук

kpavel@umbr.ru
пр. Успенский, 3, г. Верхняя Пышма,
Свердловская обл., Россия, 624091
+7 (922) 601-00-02



УДК: 622.27

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ЗАМЕРОВ ОБЪЕМОВ ГОРНОЙ МАССЫ

В статье приведен обзор маркшейдерских задач по определению объемов горной массы, с учетом требований к точности работ. Актуальным вопросом является повышение точности замеров с внедрением современного оборудования. Приводятся примеры приборов и методики съемок новым оборудованием. Разработана и приведена методика проведения промышленного эксперимента в АО «Учалинский ГОК» с целью обоснования выбора инструментов и повышения точности маркшейдерских замеров.

Ключевые слова: горная масса, маркшейдерские замеры, точность замера, лазерное сканирование

JEL коды: L72

Введение

С начала 2000 годов в практике применения технологий и инструментов для производства маркшейдерских работ произошли значительные изменения. Парк доступной техники был весьма расширен и обновлен. Основными тенденциями модернизации стало стремление производителей сократить до минимума полевые работы при сохранении либо увеличении точности выполняемых работ. Объем информации, получаемый в поле, позволяет перенести большую часть работ из полевых условий в офисные, в камеральную обработку. Это утверждение особенно подходит для съемок лазерными сканерами, способными за одну секунду выполнять до 500 000 измерений на расстоянии до 800 метров и 200 000 на расстоянии до 6000 метров. Повысилась степень автоматизации систем цифровой фотограмметрии, в электронных тахеометрах внедряются функции сканирования со скоростью до 26 000 точек в секунду. Такая модернизация позволяет получать данные с избыточной точностью, что напрямую влияет на точность выполнения маркшейдерско-геодезических съемок горнотехнических объектов. И если десять лет назад попытки получить избыточные данные приводили к многократному увеличению времени на полевые работы, то в случае с лазерным сканированием речь идет о нескольких минутах для съемки с одной точки, поскольку каждую минуту сканер снимает от 7 до 30 млн. точек в зависимости от расстояния. Все вышесказанное создает предпосылки для проведения исследований, направленных на достижение высокой точности решения маркшейдерских задач, одной из которых является определение объемов вынутой горной массы.

Применение современного оборудования объективно обусловило необходимость разработки новых методик и требований к замерам, однако базовые знания сегодняшних маркшейдеров - выпускников ВУЗов строятся на нормативных документах, разработанных более 20 лет назад что создает разрыв между возможностями, знаниями и требованиями к точности. Для постановки задачи исследований необходимо провести краткий анализ методов замеров, использующихся на предприятиях в настоящее время.

1. Традиционные методы маркшейдерских замеров, определение объемов и требуемой точности при открытых горных работах.

Съемки на открытых горных работах.

Съемка выполняется чаще всего тахеометрическим способом. Объектами съемки на открытых горных работах являются:

- горные выработки (уступы, съезды, траншеи, линии закола при взрыве блоков, развалы, дренажные выработки, скважины, водоотводные канавы, участки укрепленных откосов и т.п.);
- отвалы руды и породы;
- разведочные выработки и элементы геологического строения месторождения, видимые в натуре;
- границы опасных зон (зоны затопленных горных выработок, оползней, обрушений и т.п.);
- транспортные пути в карьере и на внутренних отвалах, лестницы между уступами;
- сооружения (эстакады, подъемники, электроподстанции, постоянные линии электропередачи, трубопроводы, помещения насосных установок).

Пикеты при съемке набираются на всех характерных точках контуров и поверхностей. Расстояние между пикетами на бровках уступов при съемке в масштабе 1:1000 принимаются не более 20 м, если бровки уступов сложные, и 30 м, если бровки вытянутые близкие к прямолинейным; при съемке в масштабе 1:2000 эти расстояния принимаются не более соответственно 30 и 40 м, а если бровки прямолинейны на большом протяжении - 50 м.

При съемке внутренних отвалов вскрышных пород в масштабе 1:5000 расстояния между пикетами принимаются не более 100 м; при съемке поверхностей взорванных пород в масштабе 1:1000 - 10 м, в масштабе 1:2000 - 20 м.

При контроле маркшейдерской съемки отклонения пикетов, набранных на бровках уступов, от положения бровки на плане горных выработок допускается не более чем на 1 мм при случайном характере отклонений.

Разность между средней отметкой бровки, вычисленной не менее чем по 15 контрольным пикетам, и средней отметкой этой бровки, определенной по плану горных выработок, допускается не более чем 0,4 м.

Периодичность съемки устанавливается исходя из производственной необходимости, но не реже одного раза в три месяца. Если съемка предназначена для определения объемов выемки с целью оплаты за экскавацию и транспортировку горной массы, то ее выполняют ежемесячно.

Тахеометрическая съемка выполняется теодолитами типа Т30, Т15, Т5 или тахеометрами. При съемке теодолитами и редуцированными тахеометрами отсчеты по горизонтальному кругу разрешается округлять до десятков минут.

Расстояние от инструмента до пикета принимается не более 150, 200 и 300 м при съемке бровок уступов и других нечетких контуров соответственно в масштабах 1:1000, 1:2000 и 1:5000; при съемке теодолитом с увеличением зрительной трубы 25(х) и более расстояние от инструмента до пикета принимается не более соответственно 200, 250 и 350 м. Если высота уступа (вынимаемого слоя) меньше 3 м, то расстояние до пикета принимается не более 150 м. При съемке четких контуров (здания, сооружения) расстояния от инструмента до пикета принимается не более 80, 100 и 150 м при съемке соответственно в масштабах 1:1000, 1:2000 и 1:5000.

С каждого пункта съемочной сети (станции) для контроля набираются дополнительные пикеты, расположенные на участках, снятых с соседних пунктов.

На каждой станции составляется абрис, на котором, показываются положение бровок уступов и других объектов съемки. Вычисление горизонтальных проложений и высот пикетов выполняется в журнале тахеометрической съемки или на компьютере. Высоты пикетов и горизонтальные проложения после вычисления округляют до дециметров. Погрешность нанесения пикета на план допускается не более 0,5 мм.

При выполнении съемки электронным тахеометром предельное расстояние от прибора до отражателя устанавливается, исходя из соответствующих технических характеристик прибора и условий видимости.

Определение объемов горных работ, точность замеров.

Объемы вынутых горных пород по данным маркшейдерской съемки определяются способами среднего арифметического, вертикальных, горизонтальных сечений, объемной палетки и другими способами, обеспечивающими необходимую точность результата на основании «Инструкции по маркшейдерскому учету объемов горных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом» [1]. При выборе способа учитывается технология разработки и вид съемки горных выработок.

Подсчет объемов вынутой горной массы и определение коэффициента разрыхления пород осуществляется в установленном порядке.

Контрольный подсчет объемов добычи и вскрыши по карьеру выполняется один раз в год до 1 февраля, следующего за отчетным годом.

Объемы подсчитываются в "две руки" или двумя независимыми подсчетами. Для контрольного подсчета объемов используются съемки, выполненные в начале и в конце контролируемого периода, или проводится разовая съемка карьера (части карьера).

Маркшейдерская съемка горных выработок и подсчет по ее результатам объемов вынутых взорванных горных пород может осуществляться не превышая значений следующих допустимых погрешностей (двойной среднеквадратической погрешности):

- при маркшейдерской съемке уступов, допустимая погрешность сигма $V_{\text{доп}}$ (%) определения объема по формуле:

$$\text{сигма } V = \frac{1500}{\text{доп кв.корень}(V)} \quad (1.1)$$

где V - объем вынутых горных пород, приведенный к объему в целике, м.

Формула (1.1) используется при объемах от 20 до 2000 тыс.м³. Если объем больше 2000 тыс.м³, то принимают сигма $V_{\text{доп}} = 1\%$; если объем меньше 20 тыс.м³, то методика съемки горных выработок и вычисления объемов устанавливается с таким расчетом, чтобы погрешность сигма $V_{\text{доп}} = 1,5\%$ не превышала 10%.

- при определении объема вынутых (взорванных) горных пород в разрыхленном состоянии по маркшейдерской съемке и перевычислении его в объем в целике через коэффициент разрыхления этих пород, допустимая погрешность сигма $V_{\text{доп}}$ (%) вычисляется по формуле:

$$\text{сигма } V = \frac{2200}{\text{доп кв.корень}(V)} \quad (1.2)$$

где V - объем вынутых (взорванных) горных пород, приведенный к объему целике, м.

Формула (1.2) используется при объемах от 45 до 2200 тыс.м³. Если объем больше 2200 тыс.м³, то принимают сигма $V_{\text{доп}} = 1,5\%$; если объем меньше 45 тыс.м³, то методика съемки и вычисления объемов, а также определения коэффициента разрыхления устанавливается с таким расчетом, чтобы погрешность сигма $V_{\text{доп}}$ не превышала 10%.

Маркшейдерский замер складов (отвалов) полезного ископаемого.

Маркшейдерский замер остатков полезного ископаемого на складах (отвалах) производится с целью контроля правильности оперативного учета и определения по результатам замера объемов добычи руды за отчетный период (как правило месяц).

Для замера складов (отвалов) со сложными поверхностями применяют инструментальную съемку с использованием современного геодезического оборудования. В качестве исходных пунктов для съемки используются пункты съемочной сети, погрешности определения которых относительно ближайших пунктов маркшейдерской опорной геодезической сети не должны превышать 0,4 мм на плане в принятом масштабе съемки и 0,2 м по высоте.

Инструментальную съемку выполняют следующими способами:

- тахеометрическим;
- спутниковой геодезии;
- лазерного сканирования.

Построение съемочных сетей выполняются следующими способами:

- геодезических засечек;
- теодолитных ходов;
- аналитических сетей.

При съемке теодолитом, тахеометром или GPS - приемником рейку (вешку) устанавливают на всех характерных точках поверхности складов (отвалов). При съемке складов (отвалов) объемом до 100 тыс. м³ расстояние от инструмента до реечной точки не должно превышать 60 м, а расстояние между реечными точками - 10 м; при больших объемах соответственно 100 и 15 м.

Если поверхность складов (отвалов) перед съемкой не выравнивается, то максимальные расстояния между реечными точками сокращаются соответственно до 6 и 10 м.

Если объемы подсчитывают способом вертикальных сечений, то пикеты набирают в характерных местах поверхности вдоль линий сечений, предварительно нанесенных на план.

Планы отвалов составляются в масштабе 1:1000 или 1:500. Поверхность отвалов изображается цифровыми отметками или горизонталями с сечением рельефа через 0,5м. Объемы отвалов по данным съемки подсчитывают способом горизонтальных или вертикальных сечений или другими способами, обеспечивающими необходимую точность результата.

В случае выполнения контрольной съемки складов (отвалов) допустимая разность основного и контрольного определения объема должна соответствовать допускам, приведенным в таблице №1. При допустимой разнице двух независимых определений объема к учету принимается его среднее значение.

Таблица 1 - Допустимые погрешности определения объемов и плотности полезного ископаемого в отвалах [1]

Показатель	Объем отвала, тыс.м ³			
	менее 20	от 20 до 50 включ.	от 50 до 200 включ.	более 200
Допустимая относительная погрешность определения: объемов, %	8	5	3	2
плотности, %	5	5	4	2
Допустимая разность двух независимых определений объемов, %	12	8	4	3

Указанные в таблице 1 значения являются нормативными для всех горных предприятий и справедливы для методик полевых и камеральных работ, перечисленных в пункте 1 настоящей статьи. Разработка методики маркшейдерских замеров повышенной точности невозможна без анализа видов инструментов и их технических характеристик.

2. Обзор современного оборудования для проведения маркшейдерских замеров объемов горной породы.

Решение большинства задач, возникающих в горном производстве, невозможно без проведения комплекса маркшейдерских работ. В свою очередь, залогом качественного и эффективного маркшейдерского обеспечения является использование маркшейдерских приборов, обеспечивающих необходимый уровень точности и оперативности представления результатов измерений.

В настоящее время создано очень много геодезических приборов и новых геодезических технологий, принципиально отличных от традиционных. В прежние годы для каждого вида измерений существовал свой тип приборов: для угловых измерений теодолит, для высотных измерений – нивелир, для линейных измерений – рулетка и дальномер. Каждый прибор, в зависимости от предполагаемого использования, имел свои характеристики точности.

Создание электронных тахеометров можно считать естественным развитием геодезической техники, связанным с общим развитием приборостроения и электроники (рисунок 1).

Электронный тахеометр сделал возможным получение координат в любой точке объекта в течение короткого промежутка времени без каких-либо дополнительных или предварительных построений на местности. Точность измерения углов в современном электронном тахеометре достигает половины угловой секунды.



Рисунок 1 – Электронный тахеометр

Электронные тахеометры и спутниковые технологии стали основой геодезических, кадастровых, маркшейдерских и картографических съемок и объединили эти технические науки одним приборным парком.

Например, лазерный ручной дальномер позволяет маркшейдеру выполнить замер объемов (замер длины, ширины, высоты и т.д.) с достаточной точностью, быстро и без привлечения помощников. На рисунках 2 и 3 изображены ручной и стационарный лазерные дальнометры, длины которых составляет 12 см.



Рис. 2

Рисунок 2 - Лазерный ручной дальномер

Лазерный стационарный дальномер



Рис. 3

Рисунок 3 - Лазерный стационарный дальномер

Для измерения углов созданы электронные теодолиты, которые могут применяться не только как самостоятельные приборы для угловых измерений в различных видах геодезических работ, но и в связи с функцией накопления и сохранения информации, как миникомпьютеры для обработки измерений (рисунок 4).



Рисунок 4 – Электронный теодолит

Для получения объемного изображения поверхности, карьеров и т.д. используются лазерные сканеры.

Лазерный сканер по средствам высокоскоростного сканирования переносит совокупность характеристик реальной поверхности в цифровой вид и представляет результат в пространственной системе координат. Лазерные сканеры – лазерные 3D сканеры – лазерные сканирующие системы – наземные лазерные сканеры – это совершенно новое геодезическое оборудование (рисунок 5). Если рассмотреть техническую сторону лазерных сканеров, можно сказать, что лазерный сканер – это прибор, оснащенный высокоскоростным безотражательным лазерным дальномером и системой изменения направления луча лазера – специальное поворотное зеркало.



Рисунок 5 – Лазерный сканер с системой спутникового позиционирования

Прогресс современной технологии выполнения маркшейдерских работ неразрывно связан с внедрением в геодезическое производство спутниковых систем позиционирования (таких, как «GPS», «Глонасс», «Бэйдоу», «GALILEO»), открывающих перспективу резкого повышения производительности труда при одновременном повышении точности измерений и снижении материальных затрат.

Одним из важных аспектов спутниковой навигации по сравнению с обычными методами съемки является получение трех координат точек. Трехмерное положение точек получают с помощью засечек с искусственных спутников Земли (рисунок 6).

Приемники GPS выпускаются для всех требований точности и многих специальных измерений.



Рисунок 6 – Мультисистемный приемник спутниковой навигации

В настоящий момент спутниковые технологии вытесняют традиционные геодезические методы определения координат, длин линий, углов и азимутов, идет поиск наиболее оптимальных технологий, обобщение и создание методических, руководящих и инструктивных материалов. Также начинают активно применяться новые виды технологий, например, такие как беспилотные летательные аппараты (рисунок 7).

Беспилотный летательный аппарат — летательный аппарат без экипажа на борту. Все чаще используется в строительных компаниях для задач, связанных с геодезией (либо картографией). Для определения координат и земной скорости современные БПЛА, как правило, используют спутниковые навигационные приёмники (GPS или ГЛОНАСС). Углы ориентации и перегрузки определяются с использованием гироскопов и акселерометров.



Рисунок 7 – Квадрокоптер с лазерным сканером

Учитывая многообразие видов измерительного оборудования, можно утверждать, что точность маркшейдерских замеров можно повысить, путем разработки соответствующей методики замеров, с применением инструментов соответствующего типа, обеспечивающего необходимую точность выполнения выбранного типа маркшейдерских работ. Поскольку статья посвящена повышению точности маркшейдерских замеров объемов горной массы ниже приводится методика промышленного эксперимента, проводимого на АО «Учалинский ГОК» с целью анализа точности замеров с применением современного оборудования.

3. Повышение точности маркшейдерских замеров объемов

Ошибка в учете вскрышных работ на 1% при стоимости добычи 150 руб/м³ и объеме добычи 5 млн. м³ в год это 7 500 000 руб и 50 000 м³, соответственно ошибка учета объемов полезного ископаемого на складах будет «стоять» предприятию значительно дороже.

Использование в замерах традиционного оборудования и традиционных методов набора пикетов может приводить к результату, представленному на рисунке 8.

Ошибки, полученные из-за недостаточной плотности данных, недоступных для съемки мест отдельных случаях могут превышать даже стандартные нормы, поэтому сложно говорить о необходимости снижения допустимых ошибок без модернизации парка оборудования, приобретения программных средств расчета и повышении квалификации персонала.



Рисунок 8 – Примеры неактуальности данных в результате традиционных замеров

Поэтому для эксперимента были приняты следующие инструменты и программы.

1. Лазерный сканер – детальность не ниже 5 см в натуре;
2. Роботизированный тахеометр с функцией сканирования с обязательным учетом всех характерных точек при съемке;
3. Маркшейдерский замер.

Обработка проводится в программах Riscan Pro, MineFrame.

За эталон принимается результат лазерного сканирования, который сравнивается с двумя другими методами. Выбор эталона обусловлен высокой точностью и скоростью лазерного сканирования, недоступной в настоящее время другой технике, а также гибкостью технологии работы с облаками сканирования, позволяющей за малый период времени оценить, как объем отдельных участков, так и всего карьера (рисунок 9).

Для проведения эксперимента по повышению точности маркшейдерского замера объемов горной массы были выбраны Западно-Озерный карьер, рудные склады ЗОК, нерабочий отвал ЗОК «Учалинского ГОКа». Методика промышленного эксперимента направлена на получение данных для проведения анализа полученных результатов съемок приборами «Уралмеханобр» и Учалинского подземного рудника с целью установления фактической точности выполнения маркшейдерских съемок.

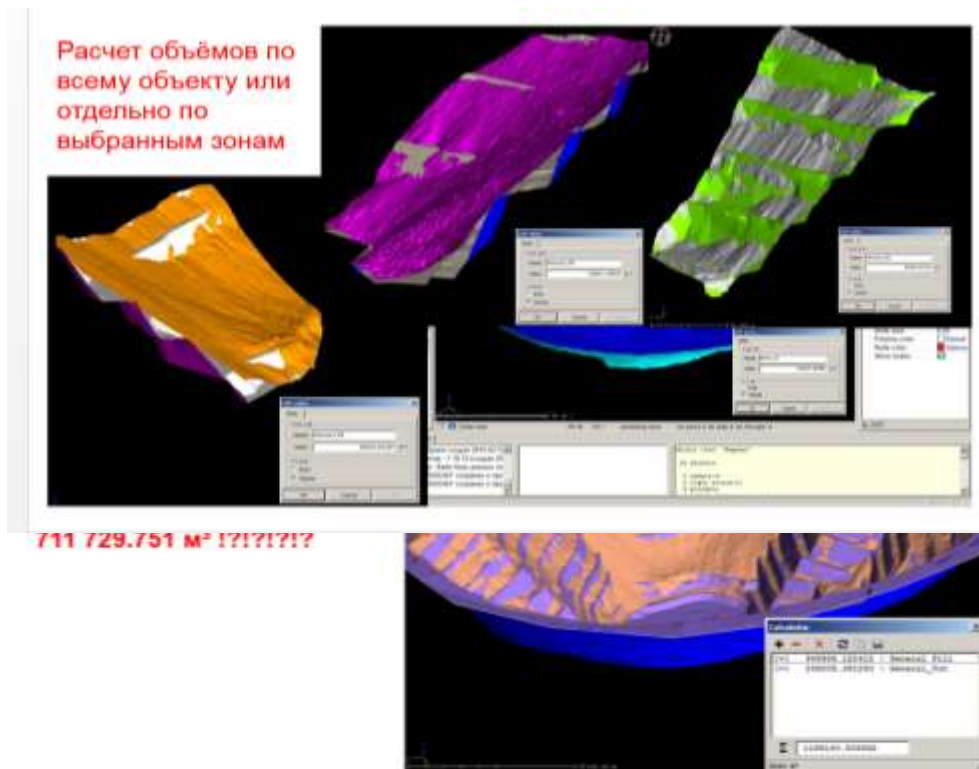


Рисунок 9 – Актуальность информации

При проведении эксперимента будет использована приборная база института «Уралмеханобр» - лазерный сканер Riegl VZ-1000. Сканер будет применен для выполнения эталонной съемки. Приборами УПР (Leica, Nikon) будут проводиться накопительный анализ текущих съемок.

Началом эксперимента будет считаться дата выполнения детального лазерного сканирования, по результатам которого создается эталонная цифровая модель. Периодичность сканирования устанавливается в соответствии с интенсивностью горных работ, но не менее двух раз за эксперимент, что позволит установить объем добытой горной массы за выбранный период.

Результатом анализа будет таблица отклонений от эталона примененных видов съемок и маркшейдерского замера.

Результатом промышленного эксперимента станет методика замеров с указаниями по типу инструментов, схеме съемок и рекомендациями по увеличению точности маркшейдерского учета объемов вынутой горной массы на карьере «Западно-Озерный», АО «Учалинский ГОК».

По окончании промышленного эксперимента планируется подготовка отдельной статьи с публикацией результатов и рекомендациями для маркшейдерского сообщества.

Список литературы

1. Инструкция по маркшейдерскому учету объемов горных пород при добыче полезных ископаемых открытым способом: РД 07-604-03: утв. Федеральным горным и промышленным надзором России (Госгортехнадзор России) 17.06.03 г.

Sergey M. Platonenko
Mine surveyor of the URF UMP of JSC "UGOK"
Uchalinsky GOK
Uchaly, Russia

Sergey V. Belyachkov
Chief mine surveyor of the URF UMP of JSC "UGOK"
Uchalinsky GOK
Uchaly, Russia

Pavel V. Koltsov
Candidate of Technical Sciences,
Head of the laboratory of OJSC "UralMahanobr"
Yekaterinburg, Russia

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF INCREASING ACCURACY OF MARKSHEIDER MEASUREMENTS OF MOUNTAIN VOLUME VOLUMES

Abstract. The article provides an overview of mine surveying tasks for determining the volumes of rock mass, taking into account the requirements for the accuracy of work. An urgent issue is to improve the accuracy of measurements with the introduction of modern equipment. Examples of instruments and methods of shooting new equipment are given. A technique for conducting an industrial experiment in JSC Uchalinsky GOK was developed and presented with a view to justifying the choice of tools and improving the accuracy of surveying measurements.

Key words: rock mass, surveying measurements, accuracy of measurement, laser scanning

Contact

Sergey M. Platonenko

JSC "UGOK", Uchaly, Russia,

Bashkortostan Resp, Uchaly, ul. Gornozavodskaya, 2, 453700

ms_platonenko_sm@ugok.ru

Sergey V. Belyachkov

Bashkortostan Resp, Uchaly, ul. Gornozavodskaya, 2, 453700

upr_belyachkov_sv@ugok.ru

Pavel V. Koltsov

Sverdlovsk Region, Verkhnyaya Pyshma, Uspensky Avenue, 3, 624091

kpavel@umbr.ru