

## ОБОСНОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**Кольцов П.В.**  
**Заведующий сектором**  
**ООО «УРАЛМЕХАНОБР – УГМК»**  
**ЕКАТЕРИНБУРГ, РОССИЯ**

Компьютерные технологии в маркшейдерии – относительно новая область знаний, охватывающая значительный круг научных направлений, как традиционных (маркшейдерия, геодезия, горное дело и т.д.), так и новых (геоинформатика, вычислительная техника). По опубликованным источникам [1] можно сделать однозначный вывод, что в настоящее время вопрос определения адекватности компьютерного моделирования полностью не решен и имеет важное значение. Рекомендуемый подход к определению адекватности слишком узок и не позволяет в полной мере оценить точность моделирования, поскольку основывается на сравнении планового положения элементов графических и геоинформационных моделей и не даёт представления о точности объёмного моделирования. При оценке адекватности компьютерного моделирования необходим контроль как планового, так и высотного положения модели.

Полнота решения маркшейдерских задач при открытой разработке месторождений зависит от функциональности используемого программного обеспечения, но основой для решения этих задач являются цифровые и математические модели поверхности.

Модель поверхности может пополняться геологической информацией, от надёжности которой зависит область решения ряда вопросов:

- контроль за устойчивостью бортов карьеров;
- многовариантная оценка запасов;
- построение оптимальной формы карьера, с учётом ликвидности сырья.

Решение маркшейдерских задач, связанных с определением устойчивого состояния бортов карьеров требует наличия профиля карьера и данных о геологическом строении массива, что позволяет в большинстве случаев применить упрощённое моделирование, с выделением литологических разностей.

В процессе переработки информации ответственными и сложными являются задачи определения адекватности графических и математических моделей истинным параметрам реальных объектов, а также адекватности вторичных моделей, в частности, математических первичным, т.е. графическим.

Эти задачи могут иметь два аспекта определения соответствия форм и геометрических размеров, адекватности свойств, например, содержания тех или иных компонентов и физико-технических показателей, характеризующих объект.

Задачи определения погрешности подсчёта запасов, инструментальных измерений детально рассмотрены в соответствующих разделах геодезии и маркшейдерии. В теории компьютерного моделирования эти задачи пока не решены. Существенно важным является установление адекватности математических моделей горнотехнических объектов, рудных тел, изолиний качества и т.п. исходным графическим моделям [1, 2, 7].

Для определения адекватности математической модели её графическому оригиналу может быть использован показатель геоинформационной плотности, так как при математическом моделировании погрешность преобразования графических моделей в цифровые связана с количеством точек, разделяющих прямые участки, которые аппроксимируют сложные кривые линии – контуры рудных тел, изолинии качества и др.

Количество точек должно быть минимальным для того, чтобы уменьшить трудоёмкость оцифровывания и всего процесса подготовки и анализ информации, но и достаточным для обеспечения допустимой погрешности [1].

Очевидно, что точность математических моделей при использовании в качестве исходных данных графической информации будет ниже, чем при получении непосредственно цифровых данных. Математические модели для маркшейдерского обеспечения открытых горных работ, создаваемые разными способами и с использованием различной исходной информации должны обеспечивать решение следующих задач:

- Определение по модели высотной отметки любой точки с необходимой точностью;
- Определение объёмов горной массы с допустимой погрешностью;
- Определение коэффициента запаса устойчивости бортов карьеров, имеющих сложную геометрию очертания.

Оценка и учёт факторов, влияющих на точность моделирования позволит разработать методику, обеспечивающую решение важных задач горного производства.

Методику работ по моделированию горнотехнических объектов можно разделить на два этапа:

1. Получение исходных данных для ЦММ:
  - Графические модели;
  - Инструментальные наблюдения;

2. Математическое моделирование.

Оценка адекватности математического моделирования производится по двум направлениям:

1. точность векторизации графических моделей;

## 2. точность математического моделирования.

Проведенные исследования погрешностей, возникающих при векторизации графического картматериала показали, что без применения специальных программ для устранения деформаций сканирования С.К.О. определения координат может достигать 2 м.

Точность цифровых моделей, зависит от традиционных и связанных с применением компьютерных технологий методик получения исходных данных. Создание только цифровой модели любого объекта позволяет решать ограниченный круг задач, связанный в основном с плоскими, двухмерными поверхностями. Полноценная работа в трехмерном пространстве возможна лишь при математическом моделировании объекта.

При решении объёмных задач цифровая модель преобразуется в математическую, при этом информационная плотность увеличивается в сотни раз, за счёт дополнительно рассчитанных точек. В моделировании используются как существующие, так и дополнительно интерполированные точки. От алгоритмов интерполяции зависит величина погрешности определения высотных отметок дополнительных точек. Объём дополнительных, математически рассчитанных точек, может в сотни раз превышать базу данных полученную при съёмке. Погрешности определения высотных отметок математической модели в первую очередь влияют на точность определения:

- отметки отдельной точки;
- объёмов горной массы;
- коэффициента запаса устойчивости бортов со сложным строением.

При традиционных методах подсчета объёмов горной массы по бумажным планам и разрезам полученная плотность данных, из-за большого количества ручных операций, обеспечивает необходимую точность вычислений.

При компьютерном, автоматическом моделировании поверхности, программа использует только те точки, которые имеются в базе данных цифровой модели. Для решения объёмных задач (объёмы горной массы, разрезы) необходима математическая связь между точками, тогда можно будет вычислить координаты любой точки принадлежащей модели. Наиболее универсальным для использования в маркшейдерии, при создании математических связей между точками, является метод триангуляции Делоне. Алгоритм работы состоит в расчёте сети треугольников, образованных между ближайшими точками.

Для установления зависимости точности математической интерполяции от плотности исходных данных выбран стандартный участок карьера размером 100×100 м. Известно, что избыточные наблюдения могут повысить точность результатов, поэтому выполнена съёмка участка с шагом 1м между пикетами. Полученные результаты являются избыточными, поскольку для обеспечения необходимой точности при традиционной методике производства маркшейдерских работ, для данного участка, достаточно расстояния 10 – 30 метров, в зависимости от сложности рельефа. Создана цифровая модель участка карьера и рассчитана эталонная математическая модель, использующая все полученные при съёмке точки. Эталонная модель сравнивалась с моделями, полученными с большим шагом между пикетами. Преобразование модели при переходе от результатов избыточных измерений к большему расстоянию между пикетами производилось последовательно, исключением из эталонной цифровой модели результатов натурных измерений. Получены цифровые модели, с расстоянием между точками (шаг сети) 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 13, 20 - 30 метров, по которым рассчитаны математические модели.

Исследования заключались в определении влияния плотности исходных данных (натурных измерений) на точность моделирования и оценивались по трём параметрам:

1. точность определения высотной отметки отдельно взятой точки математической модели;
2. объёмное расхождение между эталоном и моделями;
3. погрешность определения коэффициента запаса устойчивости.

Гистограмма на рис.3 показывает распределение среднеквадратических ошибок относительно расстояния между пикетами.

Проведённые исследования показали, что плотность данных при математическом моделировании влияет на точность маркшейдерских расчётов в большей степени, чем при традиционных методиках. Для обеспечения достаточной точности маркшейдерских работ, а следовательно адекватности моделирования необходимо увеличение плотности исходных данных, что не противоречит требованиям «Инструкции».

Точность компьютерного моделирования горнотехнических объектов и месторождений зависит как от традиционных, так и от дополнительных факторов, связанных с изменением технологии работ при применении компьютерной техники.

Погрешности математического моделирования возрастают с уменьшением исходных данных и влияют на точность определения высотного положения модели и объёма добытой горной массы. Погрешности достигают критических значений при увеличении расстояния между точками модели более семи метров.

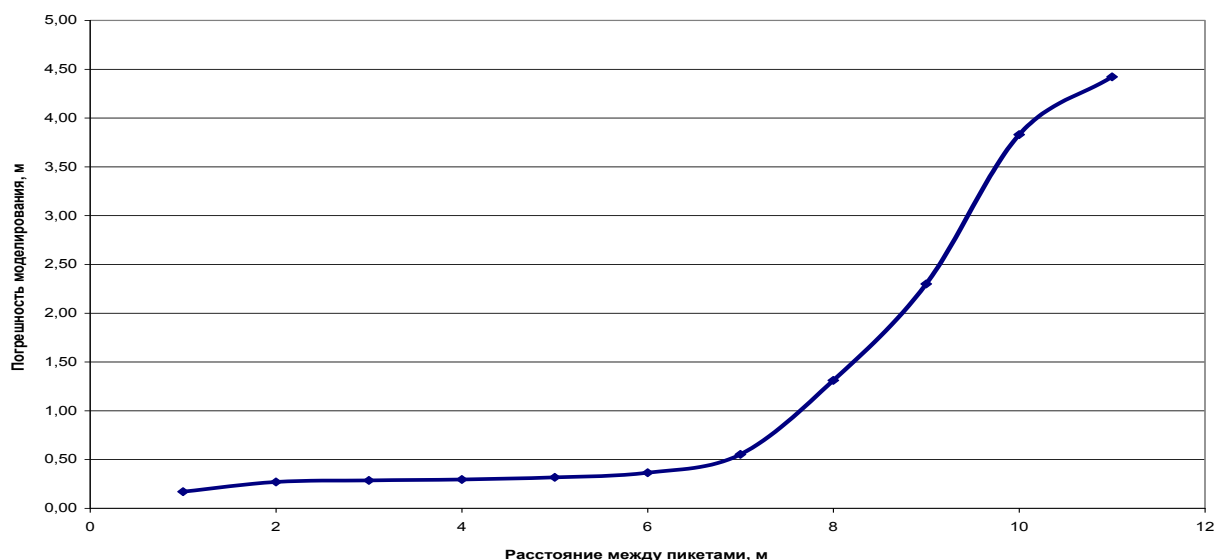


Рис.3. Зависимость погрешности определения высотных отметок математической модели от расстояния между точками

Задача обеспечения точности математического моделирования поверхностей имеет несколько вариантов решения:

- Создание программного обеспечения автоматически распознающего тип поверхности при любых исходных данных, при современном состоянии развития науки и техники возможно с использованием космических технологий и исследований в области искусственного интеллекта;
- Использование программного обеспечения, с алгоритмами для ручного указания типа моделируемой поверхности. На сегодняшний день это реализовано в программном комплексе «CREDO». Позволяет повысить адекватность математических моделей;
- Обеспечение необходимой плотности цифровой модели в полуавтоматическом режиме с использованием специального программного обеспечения;
- Съёмке с получением необходимой плотности распределения данных:
  - при использовании традиционных приборов трудоёмкость возрастает пропорционально плотности;
  - использование приборов цифровой фотограмметрии, либо лазерного сканирования в настоящее время экономически не эффективно, т.к. стоимость оборудования высока при узкой специализации.

Разработанные методы обеспечения точности успешно использованы при моделировании горнотехнических объектов России и Башкирии [3, 4, 6].

### Список использованной литературы

1. Введение в геоинформатику горного производства: Учебное пособие /Под ред. В.С. Хохрякова. – 2-е изд., переработанное и дополненное. – Екатеринбург: Издательство УГГА, 2001. – 198 с.
2. Геоинформационная плотность математических моделей горного предприятия / Хохряков В.С., Корнилков С.В., Сивков М.Н. и др. // Изв. Вузов. Горный журнал. – 1990. - №9.
3. Кольцов П.В., Разработка математической модели месторождения для решения маркшейдерских задач //Известия Уральской государственной горно-геологической академии: Материалы Уральской горнопромышленной декады, 10-20 апреля 2003 г.- Екатеринбург: Издательство АМБ, 2003. – № 17. – с 207 – 212.
4. Кольцов П.В., Лукичев В.Г. Компьютерное моделирование дамбы хвостохранилища Учалинского горно – обогатительного комбината// Основные направления развития инновационно – инвестиционной деятельности предприятий компании. Материалы второй молодежной научно – практической конференции. Сборник докладов. – Верхняя Пышма: ООО «УГМК – Холдинг», Изд.: Филантроп, 2006г. С. 134 – 138.
5. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). Серия 07. Выпуск 15/Колл.авт. – М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. – 120с.
6. Туринцев Ю.И., Кольцов П.В., Безбумажные технологии в маркшейдерии// Состояние и перспективы развития маркшейдерского дела на Урале: Материалы Международной научно – практической конференции, 9 – 12 ноября 2005 г. Редкол.: Гордеев В.А. (отв.ред) и др. – Екатеринбург: УГГУ, 2005. С 41 – 47.
7. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. - М.:Финансы и статистика, 1998.- 228с.

Публикация, доклад: Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 4  
Международной научной школы молодых учёных и специалистов. 6-9 ноября 2007 г. –М: ИПКОН РАН, 2007