

УДК: 622.1:528.952

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

ТУРИНЦЕВ Ю.И

Д.т.н., профессор

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КОЛЬЦОВ П.В.

Старший научный сотрудник

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.

Наиболее трудоёмкими в моделировании являются сложноструктурные месторождения, где для обеспечения требуемой точности необходимо применять блочное моделирование и сложные математические алгоритмы [3].

Месторождения с простым строением более легки в геометризации. При их описании возможно применение алгоритмов твердотельного моделирования [4].

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].

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].

По результатам исследований Е.В. Ригина, степень адекватности A геометрических параметров моделируемого объекта можно определить как отношение фактической геоинформационной плотности P_f к максимально необходимой P_{max} для обеспечения заданной погрешности аппроксимации кривых, представляющих данную форму:

$$A = P_f / P_{max} \quad 1$$

При $A \geq 1$ дальнейшее увеличение геоинформационной плотности не приведёт к повышению точности расчётов.

Данная формула констатирует очевидное, а достоверность расчётов по ней зависит от заданных граничных условий.

Различные задачи требуют определённой точности, но как правило требования к точности решения маркшейдерских задач являются наиболее жесткими, чем любых других задач горного производства, поэтому разработкой и обеспечением точности компьютерного моделирования необходимо заниматься именно маркшейдерской службе предприятия.

Граничные условия при преобразовании графических и цифровых моделей горнотехнических объектов в математические модели в настоящее время не определены, поэтому необходимо проведение исследований факторов, влияющих на точность моделирования.

В зависимости от способа получения исходной информации точность аппроксимации горнотехнических объектов зависит от следующих факторов:

- приборы и методика съёмки;

- методика создания графических моделей;
- приборы и методика цифрования бумажной документации;
- методика и математические алгоритмы цифрового моделирования.

Очевидно, что точность математических моделей при использовании в качестве исходных данных графической информации будет ниже, чем при получении непосредственно цифровых данных.

Задачи, решаемые по цифровым и математическим моделям зависят от степени обеспечения точности моделирования.

Точность цифровых моделей, являющихся по сути базой данных координат с классификацией точек по определённым признакам, зависит от методики съёмки и точности инструмента. Если съёмка производится цифровой техникой (тахеометр, GPS), то ошибки регистрации и обработки данных практически исключаются. Использование традиционных приборов с дальнейшим ручным вводом данных и обработкой на ЭВМ теоретически вносит определённую погрешность, зависящую от оператора.

При построении математических моделей количество факторов, влияющих на точность значительно возрастает. Основой для построения математических моделей, являются цифровые модели, поэтому необходим учёт и анализ способов и типов получения исходной информации для построения цифровых моделей.

Точность цифровых моделей можно классифицировать по типу исходной информации:

1. регистраторы цифровых приборов;
2. аналоговые приборы;
3. графические модели.

Наименее точными являются графические модели, но именно они служат переходным звеном к безбумажным технологиям, поскольку без использования накопленных предприятием графических данных невозможно создать полноценную модель месторождения, карьера, либо другого объекта.

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.

Наименее точным методом моделирования является преобразование графических моделей, поскольку данный метод имеет самое большое число этапов преобразования документации, вносящими дополнительные погрешности, но тем не менее важно

обеспечить точность этого метода, т.к именно графическая документация является исходной на действующих предприятиях.

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

1. Получение исходных данных для ЦММ:

- Графические модели;
- Инструментальные наблюдения;

2. Математическое моделирование.

Точность методик измерений и инструментов рассмотрены в соответствующих разделах геодезии и маркшейдерского дела.

Таким образом оценка адекватности математического моделирования состоит из двух этапов:

1. точность векторизации графических моделей;
2. точность математического моделирования.

Векторизация графического материала

Принципиальная схема оцифровки описана В.Я. Цветковым [8], но несмотря на общую изученность вопроса некоторые факторы, важные для обеспечения точности моделирования, не рассмотрены.

В настоящее время для сшивки отсканированных планшетов используются разные программы, как специализированные (Transform) так и дизайнерские (Photoshop), что приводит к неоднозначной точности моделирования. Рекомендации к разрешению при сканировании возможно устарели и обоснованы техническим состоянием сканеров и ЭВМ



Рис.1. Погрешности совмещения сетки координат и шаблона

прошлого столетия. В тоже время необоснованное завышение требований к оцифровке графической документации ведёт к экономическим и временным затратам вследствие необходимости увеличения мощности ЭВМ, либо времени для выполнения операций сканирования.

Переводом традиционной графики в электронный вид занимается, в настоящее время, практически каждая служба предприятия. И если тексты, графики и т.п. не представляют больших трудностей для перевода, то чертежная документация может

существенно деформироваться в результате сканирования. Особое внимание следует

уделять всей маркшейдерской горно – графической документации, поскольку по её данным выполняются все проектные работы, связанные с отработкой месторождений. Основная ошибка многих служб заключается в отсутствии контроля за точностью построений. Считается, что достаточно сканировать в качестве исходного документа для моделирования – синьку сводного плана (а не планшеты) и задать её масштаб в чертёжной программе (AutoCAD, Компас), для обеспечения достаточной точности.

Картматериал при размножении (копировании), сканировании подвергается значительным изменениям. Как видно из рис.1 графическая документация подвергается значительным деформациям при сканировании и линии сетки при масштабировании имеют значительные отклонения от шаблона (табл.1). Для устранения этих искажений необходимо перед процессом векторизации проводить контроль и трансформацию изображения до полного совмещения всех перекрестий сетки координат плана и шаблона, в пределах допустимой погрешности для соответствующего масштаба съёмки.

Существует ряд требований, предъявляемых Инструкцией [7] к точности маркшейдерской графической документации. Эти требования должны в полной мере обеспечиваться при выполнении оцифровки и векторизации любой горно – графической документации. В том числе контроль за соблюдением масштабности от крупного (1:500) к мелкому (1:1000, 2000, и т.д.), а не наоборот, поскольку компьютерные технологии позволяют проводить любое масштабирование. Выполнение работ по такой модифицированной документации будет заведомо нести ошибку.

Таблица 1.

Погрешности деформирования сканированного
картматериала

№	X, м	Y, м	№	X, м	Y, м
1	-0,853	-0,09	28	1,749	-0,522
2	-0,474	0,016	29	1,749	-0,574
3	-0,474	0,023	30	1,836	-0,803
4	-0,562	0,346	31	1,897	-0,954
5	-0,562	0,316	32	2,334	-0,699
6	-0,125	-0,427	33	2,334	-0,734
7	-0,286	-0,114	34	2,247	-0,705
8	0,18	-0,202	35	2,334	-0,763
9	0,267	0,111	36	2,334	-0,981
10	0,092	0,008	37	2,608	-1,227
11	-0,072	-0,124	38	2,871	-1,111
12	0,18	-0,015	39	3,046	-1,02
13	0,227	-0,331	40	2,958	-0,92
14	0,402	-0,37	41	2,958	-0,925
15	0,577	-0,366	42	3,046	-1,418
16	0,664	-0,098	43	2,574	-1,166
17	0,577	-0,29	44	2,953	-1,114
18	0,781	-0,515	45	3,128	-1,259
19	0,848	-0,404	46	3,128	-0,974
20	1,194	-0,589	47	3,216	-1,128
21	1,368	-0,407	48	3,594	-1,622
22	1,194	0,411	49	3,526	-1,614
23	1,281	0,326	50	3,905	-1,621
24	1,368	0,689	51	4,08	-1,432
25	1,486	-0,761	52	4,255	-1,227
26	1,661	-0,521	53	4,08	-1,309
27	1,836	-0,366	54	3,993	-2,234
СКО, X,м Y,м				2,217	0,870

Анализ табл. 1 показывает, что использование графической документации без устранения деформаций, возникающих при сканировании в маркшейдерии невозможно, поскольку масштабирование растрового файла не даёт необходимой точности, а погрешности возрастают пропорционально расстоянию до точек по которым проводилось ориентирование векторного изображения.

Разрешающая способность

Наиболее значимым фактором при сканировании является такая характеристика как «разрешение» либо «разрешающая способность». Разрешение – способность измерительной системы (устройства съёма данных – сенсора, приёмника или устройства отображения) обеспечить различение деталей объекта выражающаяся в числе точек на дюйм изображения (1 дюйм равен 2,54см) DPI [1].

Разрешающая способность непосредственно влияет на качество полученного материала, потому что для корректного снятия координат, требуется увеличение отображаемого участка цифрового плана, если же сканирование проводилось с низким разрешением, качество снимаемых данных будет неудовлетворительным. В то же время необоснованное использование самой высокой разрешающей способности сканера приводит к значительному увеличению объёма хранимой информации, а также к резкому повышению системных требований для работы с такими изображениями.

При снятии координат с оцифрованного изображения на экране монитора следует руководствоваться тем, что величина зерна (пикселя) мониторов колеблется в пределах 0,25 – 0,32 мм.

Традиционно в маркшейдерии точность снятия отчёта принимается 0,1- 0,2 мм – (игла измерителя) в масштабе плана.

Сканирование картографической документации производится без учёта размера зерна применяемых мониторов, хотя от этой характеристики зависит точность снятия информации с оцифрованных планов. Проведёнными исследованиями установлено, что для обеспечения необходимой при маркшейдерских работах точности снятия информации следует увеличивать изображение на экране в два – три раза, в зависимости от характеристик монитора. Недостаточная плотность точек при сканировании (разрешение) приводит к цифровой интерполяции изображения, т.е. характеристики точек составляющих изображение присваиваются соседним. Информационная насыщенность растрового изображения зависит от оптических характеристик используемого при сканировании оборудования. Она может быть повышена непосредственно при сканировании и не зависит от дальнейшей цифровой интерполяции.

Оценить точность сканирования можно по формуле:

$$D = \frac{25,4}{Dpi} \quad (2)$$

где D – размер наименьшего элемента при сканировании, мм;

Dpi – разрешение, установленное при сканировании;

25.4 – один дюйм, мм.

От разрешения при сканировании зависит возможность увеличения изображения на экране для повышения точности снятия информации которая определяется коэффициентом масштабирования растрового изображения.

Технологии производства современных мониторов позволяют обеспечить размер пикселя на уровне 0.24 – 0.30 мм, притом только в центре экрана. Например при сканировании с разрешающей способностью 125 dpi достигается размер точки в 0,2 мм (точность снятия отчёта с бумажного, картографического материала), но при величине зерна монитора в 0,25 мм, точность снятия отчёта, при невозможности увеличения изображения снижается.

Поэтому предлагается термин: коэффициент масштабирования растрового изображения, который позволяет оценить точность снятия плановых координат с экрана монитора. Увеличение коэффициента масштабирования позволяет компенсировать размер пикселя, который у мониторов изменяется от 0.2 до 0.38 миллиметров.

Зависимости точности сканирования и коэффициента масштабирования от разрешения при сканировании представлены в таблице 2.

Если принять коэффициент масштабирования при разрешении 125 dpi за единицу, то его зависимость от разрешения определяется по формуле:

$$K_m = \frac{Dpi}{125} \quad (3)$$

где 125 – разрешение при котором достигается необходимая величина точки растрового изображения 0,2 мм.

Точность снятия координат с плана зависит от коэффициента масштабирования и величины пикселя и может быть предварительно оценена по формуле:

$$D_{мон} = \frac{P}{K_m} \quad (4)$$

где $D_{мон}$ – точность снятия координат с экрана монитора;

P – размер пикселя монитора;

K_m – коэффициент масштабирования.

В таблице 2.5. приведены зависимости коэффициента масштабирования и размера точки растрового изображения от разрешения при сканировании.

Таблица 2.

Влияние разрешения на точность сканирования

Разрешение, dpi	Коэффициент масштабирования	Размер неделимого элемента
125	1	0.2
150	1.2	0.17
200	1.6	0.13
250	2	0.10
300	2.4	0.08
350	2.8	0.07
400	3.2	0.06

В результате сканирования и оцифровки создаётся исходная база данных цифровой модели с использованием графических моделей.

Точность цифровых моделей, как было показано выше, 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.

Математическое моделирование поверхности

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. База данных координат поверхности карьера является цифровой моделью и может служить для создания двухмерных планов и работы в двухмерном пространстве (несмотря на наличие координаты Z). Для решения объёмных задач (объёмы горной массы, разрезы) необходима математическая связь между точками, тогда можно будет вычислить координаты любой точки принадлежащей модели.

Для создания математических связей используются различные алгоритмы. Метод Кригинга (Kriging), основанный на расчете вариограмм, применяется главным образом для расчёта распределения полезных ископаемых. Данный метод может использоваться для моделирования горнотехнических объектов при очень высокой плотности исходных данных, что приводит к значительному увеличению объёма исходных данных для обработки. Наиболее универсальным для использования в маркшейдерии является метод триангуляции Делоне. Алгоритм работы состоит в расчёте сети треугольников, образованных между ближайшими точками.

Проблема данного алгоритма в том, что машина не может самостоятельно определить верх и низ уступа, соответственно если нет точки у основания уступа, то ребро треугольника будет увеличено до ближайшей точки (рис.2), которая с большой вероятностью будет на краю уступа. Тем самым геометрия уступа будет изображена неправильно. Соответственно все объёмные задачи для решения которых создаётся математическая модель будут решены с погрешностью, превышающей допустимую.

Из схемы на рис.2 следует, что алгоритм моделирования Делоне, как и многие другие, использует ближайшие точки для создания математической модели поверхности, образуя круг, определённого радиуса. Особенности производства маркшейдерских работ, предусматривают случаи, когда ближайшей точкой центра интерполирования (рис.2.а)

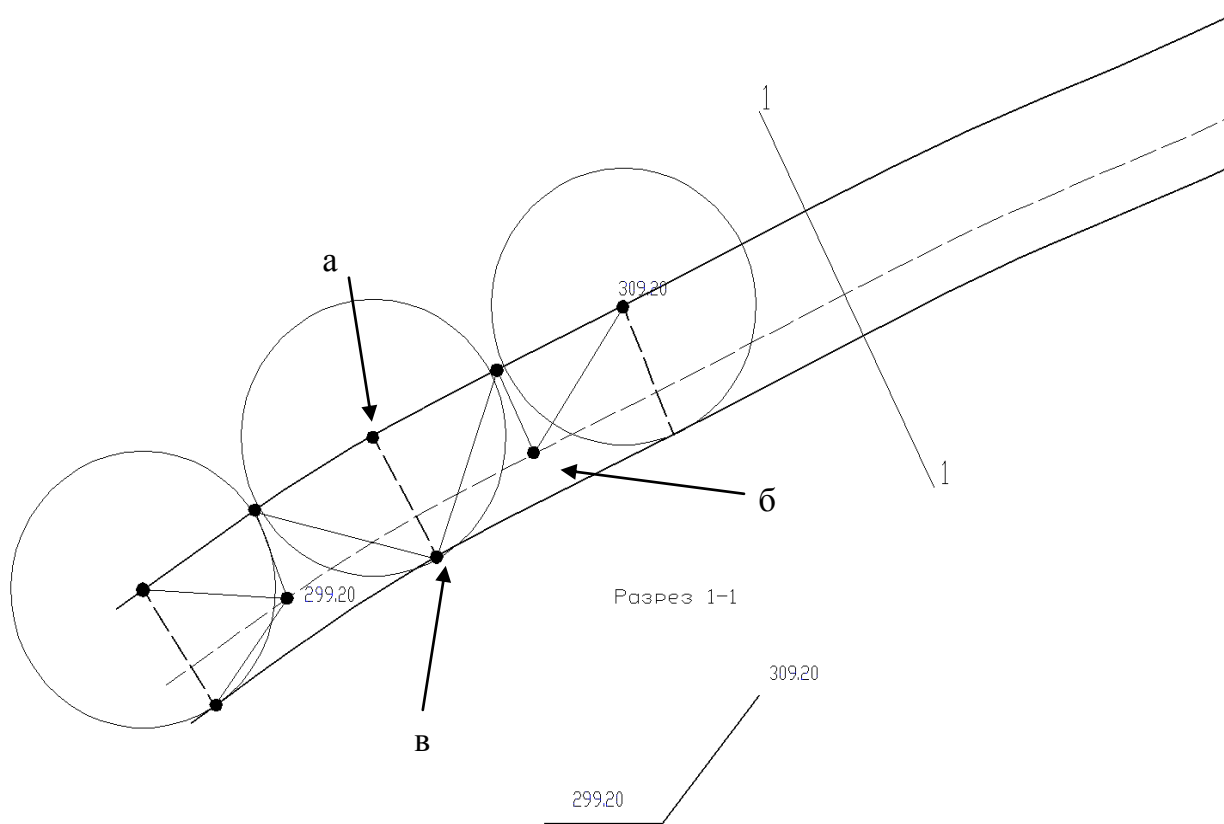


Рис. 2. Алгоритм трехмерного моделирования поверхностей (Делоне)

является не основание уступа (рис.2.б), а крайняя точка бровки (рис.2.в).

Схема эксперимента

Выбран стандартный участок карьера размером 100×100 м. Традиционно съёмка таких участков производится (согласно «Инструкции») с расстоянием между точками от 10 до 50 м в зависимости от следующих факторов:

- масштаб съёмки 1:1000, 1:2000;
- характер бровки уступа (сложные, вытянутые - прямолинейные);
- наличие характерных точек.

Отсюда следует, что расстояния между пикетами на данном участке различаются в несколько раз, а распределение данных неравномерно, поэтому необходимо установить зависимость ошибки моделирования от расстояния между пикетами.

Известно, что избыточные наблюдения могут повысить точность результатов, поэтому выполнена съёмка участка с шагом 1 м 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 натуральных 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.

На участке модели карьера намечено пять разрезов перпендикулярно борту, с расстоянием между ними в 15 – 20 м. Разрезы эталонной модели сопоставлялись с разрезами моделей, полученных при расстоянии между точками базы данных в 2,3,4,5,7,8,10,13,20-30 м.

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.

В таблице 4 даны результаты исследований отклонения плоскостей исследуемых математических моделей в трехмерном пространстве от эталона.

Поскольку размер участка испытаний составлял 100*100 метров, то при подработке его на 1 метр объём вынутой горной массы составит примерно 10 тыс. м³., согласно

«Инструкции» допустимое расхождение в данном случае не должно превышать 1,5 тыс.м³, что достигается при расстоянии между пикетами не более восьми метров.

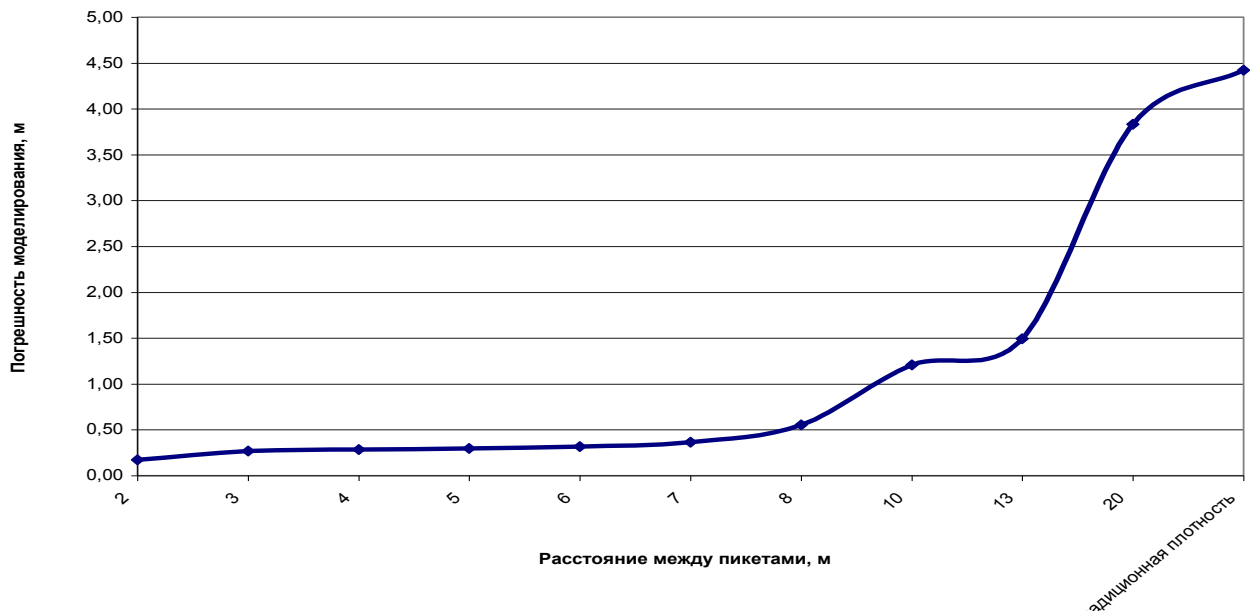


Рис.3. Зависимость погрешности определения высотных отметок математической модели от расстояния между точками

Таблица 4
Отклонения от эталонной модели
поверхности по объёму горной массы, м³

Расстояние между пикетами в цифровой модели, м	Разность объёмов, м ³
2	600
3	661
4	702
5	850
6	981
7	1056
8	1301
10	2105
13	3440
20-30	5212
Традиционная плотность	3674
Традиционная съёмка и интерполирование до 1м. между пикетами	827

Погрешность расчёта коэффициента запаса устойчивости бортов карьеров

Существует множество факторов, влияющих на точность определения коэффициента запаса устойчивости бортов карьеров. Нами проанализировано дополнительное влияние методики математического моделирования карьеров на геометрию борта и как следствие на результаты расчёта устойчивости. В качестве исходных данных служили разрезы борта карьера, полученные по математическим

моделям с расстоянием между пикетами 2,3,4,5,7,8,10,13,20-30 м. и импортированные в программный комплекс «ОТКОС», предназначенный для выполнения расчетов по оценке устойчивости уступов, бортов карьеров и отвалов, сложенных неоднородными породами, имеющими сложную геометрию очертания.

Из таблицы 5 видно, что изменение геометрии откоса, вследствие ошибок моделирования, приводит к неоднозначности результатов расчёта устойчивости борта. При его значениях близких к единице приведённые погрешности имеют отклонения выше допустимых. Зависимость распределения погрешностей носит случайный характер, что связано с изменением наиболее слабой поверхности скольжения при изменении геометрии борта карьера.

Таблица 5.

Процентное соотношение расхождений расчёта КЗУ по сравнению с эталонной математической моделью

Расстояние между пикетами в цифровой модели, м	Отклонения от эталона					Среднее квадратическое отклонение, %
	Разрез 1	Разрез 2	Разрез 3	Разрез 4	Разрез 5	
1	0,00%	0,00%	0	0	0	0
2	5,84%	1,03%	1,66%	7,69%	3,25%	4,64%
3	-2,19%	-0,51%	7,18%	7,69%	-1,63%	4,87%
4	-9,49%	-2,05%	-4,42%	-1,54%	-1,63%	4,87%
5	-1,46%	-2,56%	-1,66%	2,56%	0,00%	1,90%
6	-2,19%	-2,56%	1,66%	-2,05%	1,63%	2,05%
7	-3,65%	-1,54%	1,10%	-1,54%	1,63%	2,09%
8	1,46%	2,56%	3,31%	-2,56%	3,25%	2,71%
13	0,73%	-1,54%	3,31%	-6,67%	3,25%	3,71%
20	-1,46%	-2,56%	1,10%	-10,26%	1,63%	4,85%
Традиционные расстояния	10,22%	0,00%	-1,66%	3,59%	-13,82%	7,89%

Заключение

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 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 математического моделирования достигают критических значений при увеличении расстояния между точками модели более семи метров.

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 реализовано в программном комплексе «CREDO». Позволяет повысить адекватность математических моделей. Круг решаемых задач определяется возможностями одной программы;
- 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 [4, 5, 7].

Список использованной литературы

1. Введение в геоинформатику горного производства: Учебное пособие /Под ред. В.С. Хохрякова. – 2-е изд., переработанное и дополненное. – Екатеринбург: Издательство УГГГА, 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., Зайнитдинова Е.К. Принципы построения математической модели сложноструктурного месторождения // Проблемы геометризации недр: Материалы Международной конференции, 17 - 19 мая 2002 г. Редкол.: Гордеев В.А.(отв. ред.) и др.- Екатеринбург: УГГГА, 2002. – С. 74 - 80
4. 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.
5. 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.
 6. 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.
 7. 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.
 8. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии.- М.:Финансы и статистика, 1998.- 228с.