

Н.А. Калдыбаев, А. Абдыкадыров, З.У. Караева
К.т.н., доцент ОшТУ, преп. ТК ОшТУ, преп. ОшТУ
N.A. Kaldybaev, A. Abdykadyrov, Z.U. Karaev
c.t.s., docent OshTU, teacher TC OshTU, teacher OshTU

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ (НА ПРИМЕРЕ МАЛЫХ КАРЬЕРОВ)

В работе исследованы факторы, влияющие на адекватность модели горнотехнических объектов при переходе от цифрового к трехмерному математическому моделированию. Дана оценка точности математического моделирования открытых горных работ с применением компьютерных технологий.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, малые карьеры, горнодобывающая отрасль.

EVALUATION OF THE ACCURACY OF COMPUTER MODELING OF OPEN PIT MINING (FOR EXAMPLE, SMALL CAREER)

The paper examines the factors affecting the adequacy of the model of mining facilities during the transition from the digital to the three-dimensional mathematical modeling. There is given the estimation accuracy of mathematical modeling of open pit mining with the use of computer technology.

Keywords: computer modeling, small career mining industry.

Горнодобывающая отрасль Кыргызской республики является бюджетобразующей и имеет широкие перспективы для развития. В настоящее время планирование горных работ осуществляется преимущественно с применением компьютерных технологий. Переход от бумажных носителей информации к электронным является актуальной проблемой для горнодобывающей отрасли и требует совершенствования методики компьютерного моделирования.

Как известно, компьютерное моделирование горнотехнических объектов осуществляется с применением цифровых методов сбора, обработки и анализа данных. Для планирования горных работ на карьере (в том числе малых) используются графическая маркшейдерская документация и непосредственно полевые съёмочные данные.

В результате сканирования и оцифровки создаётся исходная база данных цифровой модели с использованием графического материала. Точность построения цифровых моделей по данным обработки результатов съёмки зависит от характеристик оборудования.

Создание только цифровой модели любого объекта позволяет решать ограниченный круг задач, связанный в основном с плоскими, двумерными поверхностями. Полноценная работа в трехмерном пространстве возможна лишь при математическом моделировании объекта.

Разный тип исходной информации подразумевает различия в методиках моделирования, поэтому адекватные результаты возможны лишь при учете всех факторов, влияющих на точность результатов.

Ошибки моделирования можно разделить на ошибки планового и высотного положения модели. Величина этих ошибок зависит как от инструментов и методики съёмки, так и от дополнительных факторов. Дополнительные ошибки планового положения модели вносятся при сканировании и векторизации графической документации. Дополнительные

ошибки высотного положения зависят от методики моделирования и математического аппарата, применяемого при аппроксимации поверхности.

Картматериал при сканировании подвергается значительным изменениям. Расхождение точек пересечения координатной сетки при совмещении сканированных маркшейдерских планшетов с эталонным шаблоном того же масштаба достигает четырех метров в натуре. Искажения необходимо устранять в специализированном программном обеспечении.

Информационная насыщенность растрового изображения зависит от оптических характеристик используемого при сканировании оборудования, может быть повышена непосредственно при сканировании и не зависит от дальнейшей цифровой интерполяции.

Оценить точность сканирования можно по формуле

$$D = \frac{25.4}{Dpi}, \quad (1)$$

где D – размер наименьшего элемента сканирования, мм/точку;

Dpi – разрешение, установленное при сканировании, точек/дюйм;

25,4 – коэффициент соответствия единиц измерения (1 дюйм = 25,4 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. 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 снижается до 0,5 мм.

Поэтому для учёта размера пикселя монитора введено понятие «коэффициент масштабирования растрового изображения», позволяющий обеспечить необходимую точность снятия плановых координат. Увеличение коэффициента масштабирования позволяет компенсировать размер пикселя, который у мониторов изменяется от 0,2 до 0,38 мм.

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

$$K_m = \frac{Dpi}{125}, \quad (2)$$

где 125 – разрешение, при котором достигается необходимый размер точки растрового изображения, соответствующий 0,2 мм.

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

$$D_{\text{мон}} = \frac{P}{K_M}, \quad (3)$$

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

P – размер пикселя монитора;

K_M – коэффициент масштабирования.

При решении объёмных задач цифровая модель преобразуется в математическую, при этом информационная плотность модели увеличивается в сотни раз за счёт дополнительно рассчитанных 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 обеспечивает необходимую точность вычислений. Это обеспечивается тем, что маркшейдер вручную определяет границы каждого контура. При компьютерном же 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 является метод триангуляции Делоне. Алгоритм работы состоит в расчёте сети треугольников, образованных между ближайшими точками. Проблема автоматических алгоритмов в том, что машина не может самостоятельно определить верх и низ уступа. Если нет точки у основания уступа, то ребро треугольника будет увеличено до ближайшей точки (рис. 1), 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. 1 следует, что алгоритм моделирования Делоне, как и многие другие, использует ближайшие точки для создания математической модели поверхности, образуя круг определённого радиуса. В практике производства маркшейдерских работ возможны и повсеместно распространены случаи, когда ближайшей точкой центра интерполирования (см рис. 1, а) является не основание уступа (см. рис. 1, б), а крайняя точка бровки (см. рис. 1, в).

Для проведения эксперимента выбран стандартный участок карьера размером 100×100 м. Традиционно съёмка таких участков производится согласно «Инструкции по производству маркшейдерских работ» (далее «Инструкции») с расстоянием между точками от 10 до 50 м, в зависимости от таких факторов, как:

- ✓ 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. Для получения избыточных в этих условиях данных выполнена съёмка участка с шагом 1 м между пикетами высокоточным тахеометром. Создана цифровая модель участка карьера, и рассчитана математическая модель, использующая все полученные при съёмке точки. Полученная

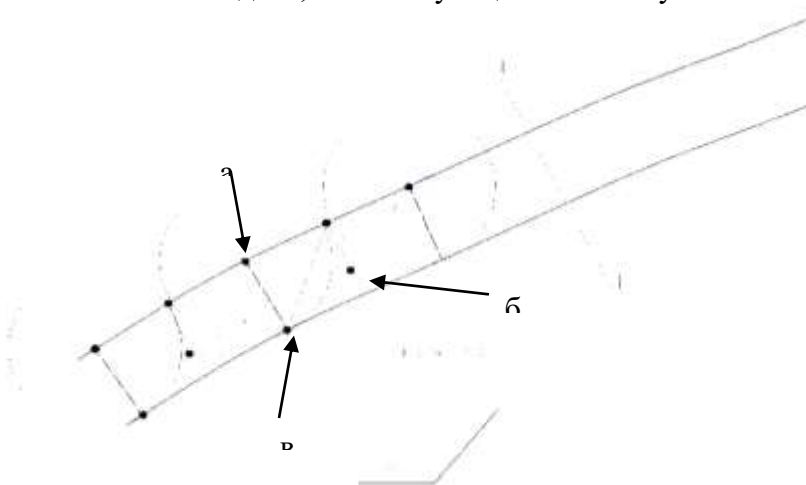


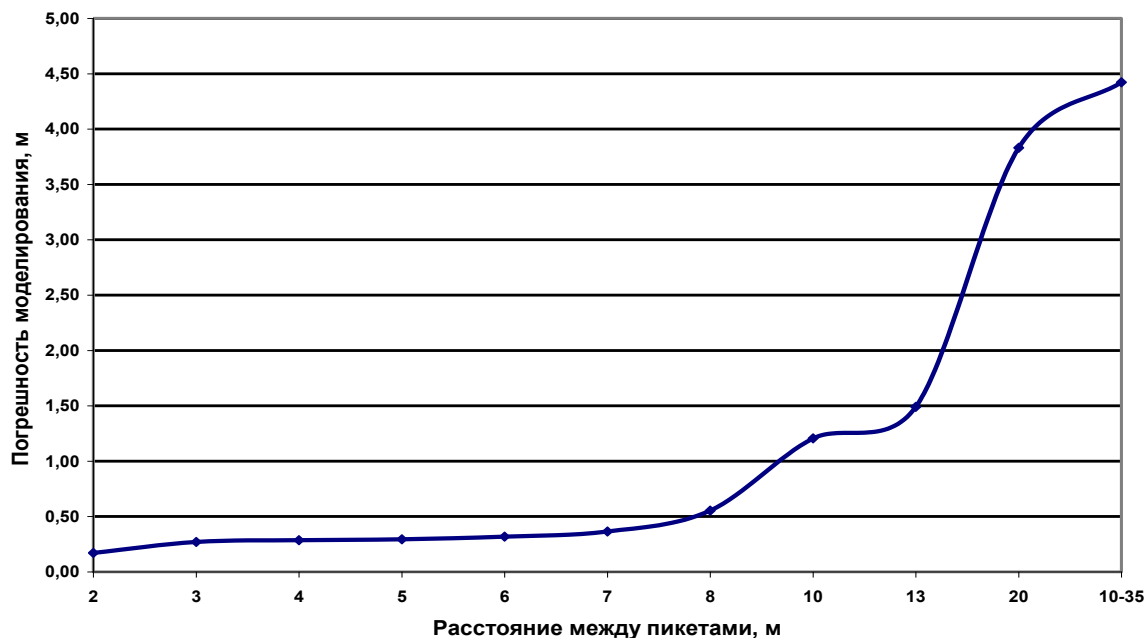
Рис. 1. Алгоритм трехмерного моделирования поверхностей (Делоне)

математическая модель является эталонной и с достаточной точностью аппроксимирует все особенности рельефа участка испытаний.

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. Указанным способом получены цифровые модели с расстоянием между точками (шаг сети) 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 13, 20 – 30 м.

По цифровым моделям с соответствующим шагом сети 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.

Рис. 2. Зависимость погрешностей определения высотных отметок точек математической модели от расстояния между пикетами

Гистограмма на рис. 2 показывает зависимость погрешности математического моделирования от расстояния между пикетами.

Из рис. 2 видно, что начиная с расстояния между пикетами равной 8 м погрешность моделирования резко возрастает. В связи с этим при маркшейдерской съемке геометрии бортов карьера, с целью снижения погрешностей расчетов рекомендуется не превышать расстояние между пикетами от 10-12 метров.

Проведённые исследования показали, что для минимизации ошибок математического моделирования необходимо увеличение плотности исходных данных, что допускается инструктивными требованиями к маркшейдерской съемке.

Литература:

Кольцов П.В. Методика применения цифровой модели для решения маркшейдерских задач на карьерах // Материалы Уральской горнопромышленной декады, г. Екатеринбург, 5 – 15 апреля 2004 г. – Екатеринбург: УГГГА, 2004. – С. 270 ÷ 272.

1. Туринцев Ю.И., Кольцов П.В. Компьютерное моделирование горнотехнических объектов // Известия вузов. Горный журнал. – 2006 – № 6. – С. 14 ÷ 17.
2. Туринцев Ю.И., Кольцов П.В. Оценка адекватности математических моделей горнотехнических объектов // Маркшейдерия и недропользование. – 2006 – № 6. – С. 54 -59.