Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35^0. Руководство КД 12.01.01.503-2001. Минтопливэнерго Украины. – К.: 2002г. – 141с.

5. Иванов А.С., Сдвижкова Е.А., Бабец Д.В. Численное моделирование влияния скорости обнажения горных пород на механические процессы вблизи сопряжения очистной и подготовительной выработки. // «Форум горняков – 2009». Материалы междунар. конф. – Д.: Национальный горный университет, 2009. – С. 37 – 44.

6. Шашенко А.Н., Сургай Н.С., Парчевский Л.Я. Методы теории вероятностей в геомеханике.-К.: Техника, 1994. – 209 с.

7. Hoek E. Practical Rock Engineering, 2000 Edition (Электрон. Ресурс http://www.rocscience.com/hoek/Practical Rock Engineering).

Рукопись поступила в редакцию 5.03.12

УДК 528.9+681.3

Е.Н. НОВИКОВА, канд. техн. наук, доц., Д.В. САМСОННИКОВ, аспирант,
Р.Н. ОПАЛАТЕНКО, Е.Ю. НИКОЛАЕНКО, студены
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ В АРИОГРАММНОЙ МОДЕЛИ НА ТОЧНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ ЦМР В ТОЧКАХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ МЕТОДОМ КРАЙГИНГА

Показано, что механическое отбрасывание пар точек при построении вариограммного графика на основании априорного условия не позволяет построить ЦМР с максимально возможной точностью. Для оптимального выбора нужного количества пар точек следует выполнить анализ полного вариограммного графика, построенного по всем парам точек исходных данных.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время имеется практически бесконечное множество методов построения ЦМР, которые используются не только для картографических целей, но также и для решения различных задач, связанных с поверхностями, таких как отыскание объемов земляных работ, проектирование сооружений линейного типа и т.п. Ошибки построения ЦМР влияют на точность решения этих задач. Поэтому, при прочих равных условиях, должна быть выбрана такая ЦМР, которая позволит максимально уменьшить ошибки при ее построении. В этой статье проанализировано влияние параметров экспоненциальной вариограммной модели на точность построения ЦМР в точках исходных данных.

Анализ последних исследований и публикаций. Одним из самых перспективных методов построения ЦМР является метод Крайгинга. Как указывает Michael N. DeMers [1, 297], при построении модели поверхности этим методом, последняя разделяется на три части. Первая часть, общий тренд поверхности, описывается с помощью простого уравнения. Вторая часть - небольшие отклонения от тренда, которые являются взаимно коррелированными и поэтому могут быть рассчитаны. Третья часть - случайный (белый) шум, который невозможно определить в каждой точке поверхности, но можно учесть при анализе точности построения модели.

Таким образом, для вычисления модели поверхности методом Крайгинга следует выбрать формулу тренда и определить вторую и третью части модели. Формула тренда задается в ручном режиме. Для определения второй и третьей части модели используется график вариограммы, который является уникальным для каждой поверхности и для каждого набора ее точек. Вариограммный график строится по точкам исходных данных, а затем сравнивается с графиками типовых теоретических вариограмм. В системе Surfer [2, с. 73] имеется специальная процедура для построения вариограммного графика.

Постановка задачи и изложение основного материала исследования. Согласно [2, с.71] из точек исходных данных, каждая из которых имеет координаты X,Y,Z, формируются пары. Если файл содержит N точек исходных данных, то они образуют N(N-1)/2 пары. Эти пары являются уникальными, т.е. не повторяющимися, причем, каждая точка в этой паре имеет свое место. В частности, точка с меньшей величиной Y, является первой, ее координаты в паре - X_1,Y_1,Z_1. Аналогично, точка с большей или равной величиной Y, является второй, ее координаты в паре – X_2,Y_2,Z_2. Первая точка носит название головы, а вторая - хвоста пары. Для каждой пары вычисляются две величины S и θ, равные

$$S = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2},\ \theta = \arctan\left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}\right). \quad (1)$$

© Новикова Е.Н. Самсонников Д.В., Опалатенко Р.Н., Николаенко Е.Ю., 2012

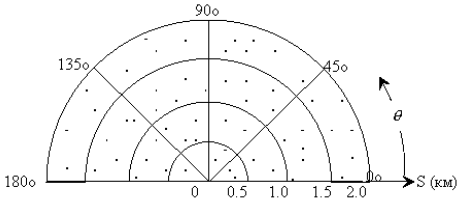

Рис. 1. Вариограммный полукруг

Так как для всех пар $Y_2 \geq Y_1$ величина θ изменяется в пределах от 0 до 180°. Если рассматривать величины S и θ как полярные координаты точки, то все пары могут быть показаны точками на вариограммном полукруге, представленном ниже, рис. 1.

Радиусы полуокружностей на рисунке можно выбрать различными способами. Например, можно приравнять максимальный радиус полуокружности к максимальному расстоянию между точками исходных данных, а затем, для получения промежуточных полуокружностей, разделить максимальное расстояние на несколько частей. Другой способ - выбрать максимальный радиус таким, чтобы он равнялся максимальному расстоянию между точками, при котором они еще имеют влияние друг на друга. В системе Surfer величина максимального радиуса определяется округлением R_{max}, вычисленным по формуле

$$R_{\max} = \frac{1}{3} S_{\max} = \frac{1}{3}\sqrt{(X_{\max} - X_{\min})^2 + (Y_{\max} - Y_{\min})^2}\ , \qquad (2)$$

до двух первых значащих цифр.

В равенстве (2) $X_{max}, X_{min}, Y_{max}, Y_{min}$ - максимальное и минимальное значения величин X, Y, выбранные по все точкам исходных данных, S_{max} - максимальное расстояние между двумя точками исходных данных. На рис. 3 величина S_{max}, равная 548,722 (км), показана прерывистой линией. Учитывая формулу (2), можно получить

$$R_{max}=180 \text{ (км)}.$$

Точки, попавшие за пределы максимального радиуса полуокружности, в вариограммной модели системы Surfer не рассматриваются. Как будет показано ниже, такое принудительное отбрасывание данных при построении вариограммы не позволяет выбрать оптимальную вариограммную модель и тем самым, не позволяет построить ЦМР с максимально возможной точностью.

Полуокружности делят полукруг на несколько сегментов. В частности, на рис. 1 полукруг разделен на четыре сегмента. Чем больше сегментов, тем более точным будет график вариограммы. На практике, неплохой результат дают 20-25 полукруговых сегментов.

Для каждого сегмента полуокружности вычисляется количество точек, попавших внутрь него n_i и вариограмма по формуле

$$\gamma(\mathrm{i}) = \sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n_i}} (\mathrm{Z}_2 - \mathrm{Z}_1)^2 \Big/ 2\mathrm{n_i}\ . \qquad (3)$$

В этой формуле Z_1 - значения координаты Z для голов, Z_2 - для хвостов каждой пары, попавшей внутрь сегмента. По полученным значениям величины $\gamma(i)$ строится график реальной вариограммы. На рис. 2 представлен график вариограммы для 256 точек исходных данных (32640 пар), показанных на рис. 3.

На графике интервалы, соответствующие определенным сегментам, отделены друг от друга вертикальными линиями, значения вариограммы откладываются в центральных точках интервалов. Полученные точки соединяются отрезками прямых. Рядом с каждой точкой, можно указать количество пар n_i, попавших в данный сегмент.

a *b*

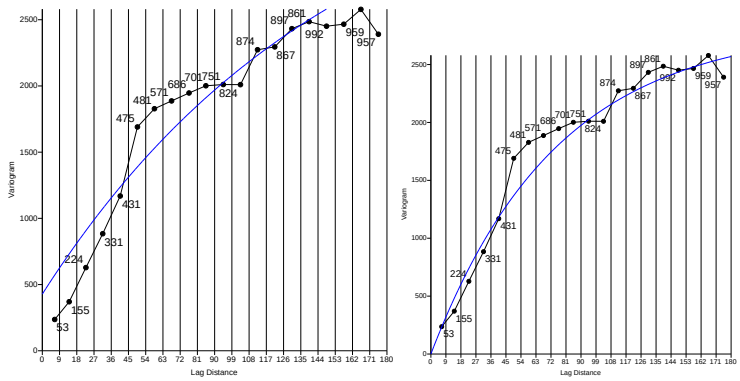

Рис. 2. График вариограммы для 20 сегментов с экспоненциальными моделями, рассчитанными по методу наименьших квадратов, определенными в системе Surfer (*a*) и в системе Excel (*b*)

График вариограммы для каждой поверхности является индивидуальным. Поэтому его можно считать характеристикой поверхности.

Полученная экспериментальная кривая вариограммы сравнивается с теоретическими кривыми, т.е. с моделями. В системе Surfer-7 имеется 10 стандартных моделей вариограмм [2, с. 71]. Каждая модель предполагает свой способ расчета высот ЦМР и зависит от двух параметров, определяющих ее уравнение и двух параметров анизотропии.

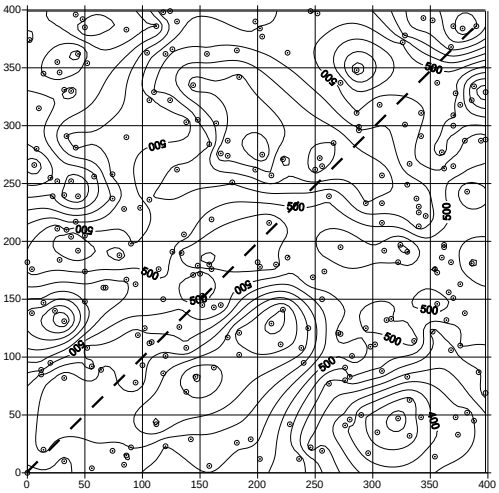

Рис. 3. Изолинейный слой ЦМР, построенный по 256 точкам исходных данных с помощью вариограммной модели 1 (см. табл. 1)

Кроме того, если предполагается, что исходные данные содержат случайные ошибки, в модель добавляется параметр, называемый «Эффектом самородка» («Nugget effect») [2, с. 74]. В частности, экспоненциальная модель вариограммы, рассматриваемая здесь, представляется следующим уравнением

$$\gamma = m\left(1 - e^{-\frac{S}{A}}\right) + b\,, \qquad (4)$$

где γ - теоретическое значение вариограммы, определяемое с помощью модели, S - расстояние между двумя точками исходных данных, m,A - параметры модели, называемые масштабом (Scale) и длиной (Length), b - «эффект самородка».

Для того, чтобы получить модель, максимально подходящую к точкам исходных данных в системе Surfer-7 предлагается два метода подбора параметров: метод наименьших квадратов (Least Squares) и метод минимакса (Least Absolute Value).

В работе выполнен анализ того, как влияют параметры, найденные обоими методами, на точность построения ЦМР в точках исходных данных. С помощью системы Excel выполнен расчет параметров нескольких экспоненциальных вариограммных моделей, которые затем сравнивались с моделями, построенными с помощью системы Surfer. Сравнение выполнялось по точкам исходных данных, т.е. для каждой модели вычислялась СКО по формуле [3, с. 274]

$$CKO = \sqrt{\sum_{j=1}^{N} \Delta_j^2 Z \Big/ N}\,, \qquad (5)$$

где

$$\Delta_j^2 Z = \left(Z_{j\,исх} - Z_{j\,mad}\right)^2. \qquad (6)$$

В формуле (6) $Z_{jисх}$ - исходное значение величины Z точке, Z_{jmad} - значение Z - на поверхности модели в точке с теми же координатами X,Y.

На рис. 4 представлен полный график вариограммы для тех же 256 точек исходных данных, построенный с помощью системы Excel.

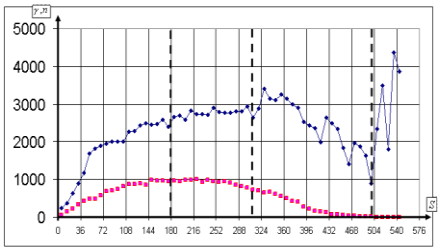

Рис. 4. Полный график вариограммы, построенный по всем парам точек

Как видно из рис. 4, нет существенного изменения в поведении вариограммы для расстояний между точками, больших 180 км. В то же самое время имеется резкое изменение в поведении этой функции при расстояниях 306 и 504 км. (показаны вертикальными прерывистыми линиями). В связи с этим, кроме модели вариограммы, построенной по точкам с расстояниями, меньшими 180 км, были построены модели вариограммы, с расстояниями, меньшими 306 и 504 км. Одновременно была построена модель, учитывающая все пары точек. Параметры моделей определялись из условия минимума суммы квадратов отклонений соответствующей модели от реальной вариограммы, т.е.

$$\sum_{i=1}^{M} \left(\gamma - \gamma_p\right)_i^2 = \min\,. \qquad (7)$$

В формуле (7) M - количество точек, в которых задана реальная вариограмма.

Для нахождения параметров в системе Excel использовалась команда «Поиск решения» [4, с. 645]. В табл. 1 представлены значения параметров для моделей, основанных на формуле (4), отличающихся друг от друга количеством используемых точек вариограммы.

Таблица 1

Параметры экспоненциальных вариограммных моделей, построенных для одних и тех же исходных данных

Параметр	Модель					
	1	2	3	4	5 «Минимаксная»	6 «Наим. Кв»
M	20	34	56	61	20	20
R_{max}	180	306	504	549	180	180
Количество пар	13050	26023	32623	32640	13050	13050
m	2825,804	2899,111	2587,991	2663,940	3470	3158
A	75,01911	78,94025	58,64696	62,97496	274	304,6
b	0	0	2,68E-11	0	428	214,6
Радиус анизотропии	1	1	1	1	2	1,753
Направление анизотропии (градусы)	-	-	-	-	58,83	60,54
СКО (м)	3,31	3,30	3,33	50,30	12,38	11,58

Выводы. Таким образом, модель, построенная с учетом всех пар точек исходных данных (модель 4 в табл. 1) имеет СКО, намного большую, чем все остальные модели. Следовательно, для построения оптимальной модели, часть пар, точек исходных данных необходимо отбросить. Однако, анализируя СКО моделей 1 и 2, можно сделать вывод, что механическое удаление пар точек, расстояния между которыми не удовлетворяет условию $S \leq R_{max}$, не дает оптимального результата. Для оптимального выбора необходимых пар, следует выполнить анализ полного вариограммного графика, и определить на нем точки, в которых вариограммная функция резко меняет свое поведение. Сравнение СКО модели, полученной по методу наименьших квадратов с помощью системы Surfer (модель 5), с моделью, построенной тем же методом, но с помощью системы Excel (модель 1), позволяет сделать вывод, что процедура построения модели в системе Surfer, содержит грубые погрешности в вычислениях параметров моделей. Аналогичный результат можно получить, сравнивая графики на рис. 2*a,b*. В результате, параметры, найденные в системе Surfer не могут считаться наилучшими.

Список литературы

1. **ДеМерс, Майкл Н.** Географические информационные системы. Основы.: Пер. с англ. . – М.: Дата+, 1999. – 490 с.

2. **Сидоренко В.Д., Новикова О.М., Леснікова Н.О., Колчина М.С.** Геоінформаційна система SURFER – 5.01. – Навчальний посібник. – Кривий Ріг:Мінерал, 2003. – 191 с.

3. **Самсонников Д.В., Дмитренко А.П.** Оценка точности и выбор оптимальной цифровой модели рельефа // Разраб. рудн. месторожд. – Вып. 92. –Кривой Рог.: КТУ, 2008. – С. 273-276

4. **Блатнер П., Ульрих Л., Кук К., Дик Т.** Использование Microsoft Excel 2000. Специальное издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2000. – 1024 с.

Рукопись поступила в редакцию 05.03.12

УДК 528.48:681.3.06

А.Ю. ПАЛАМАР, аспірант, Криворізький національний університет

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ КАМЕРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ДАНИХ НА ПІДПРИЕМСТВАХ КРИВБАСУ

Приведені основні напрямки роботи в програмних комплексах, які використовуються на підприємствах Кривбасу. Виконано порівняння характеристик програм, визначені основні їх недоліки та переваги.

Постановка проблеми. Автоматизація геодезичних обчислень є актуальною темою і необхідна в усіх галузях робіт, де використовується обробка результатів геодезичних вимірювань. Програми, які були розроблені кілька років тому, являються вже застарілими, на зміну їм прийшли більш точніші, ефективніші, удосконалені програмні комплекси. На сьогоднішній

© Паламар А.Ю., 2012