

УДК 622.271

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОДНОГО ОТВАЛА
ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЕГО ВЫСОТЫ НА ОСНОВЕ
МАРКШЕЙДЕРСКИХ СЪЕМОК

Е.В. Прокопенко, С.В. Борщевский
Донецкий национальный технический университет

У статті приведена методика визначення допустимої висоти породного відвалу на основі результатів маркшейдерських зйомок на ш. Щегловська-Глибока. Запропоновані результати розрахунків прогнозуємих значень висоти, що дозволяють виконати заходи з формування відвалів з точки зору їх раціонального використання

В ходе ведения подземных горных работ возникает необходимость увеличения высоты отвалов. В то же время с увеличением высоты отвала в отвальных породах могут возникать напряжения, приводящие к появлению недопустимых деформаций и потере устойчивости откосов. Предварительная оценка состояния отвалов и управление устойчивостью откосов являются актуальными проблемами горного производства.

Мероприятия по формированию отвалов наибольшей высоты являются целесообразными и с точки зрения сохранения существующих экосистем в связи с уменьшением площади изымаемых под отвалы земель.

О прогнозе и управлении рациональным размещением пород в отвале авторами было рассмотрено в статье [1]. В данной статье авторы акцентировали внимание на устойчивость отвала в зависимости от укладки пород в отвале. На основе дальнейших исследований, а также на основе маркшейдерских съемок породных отвалов за определенные периоды времени, в частности периоды съемки с 2005 по 2009гг. на ш. Щегловская-Глубокая (ш/у Донбасс) были получены исходные данные, содержащие значения высотных отметок в определенных точках отвала. На рис. 1 по полученным данным был построен график, показывающий расположение каждого яруса отвала в периоды съемки. Перед авторами ставилась задача определения прогнозируемых значений высоты последующего яруса в 2010 г.

Для решения задачи использовался пакет «Statistica for Windows», модуль «Анализ временных рядов/Прогнозирование». Однако, по требованиям, предъявляемым к исходным данным модуля, их должно быть не менее 36 для обеспечения достаточной точности

прогноза. Имеющееся количество данных (данные за пять лет, т.е. пять точек) не позволяло получить модель прогноза с достаточной степенью точности.

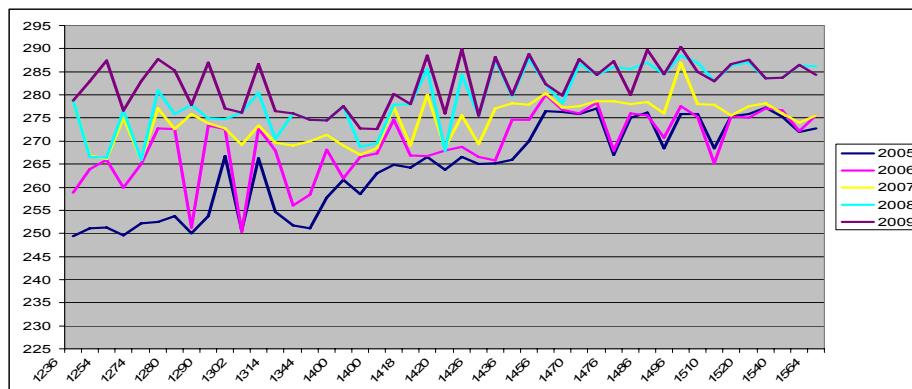


Рис.1. График расположения ярусов отвала за 2005-2009 гг.

Поэтому первоначально, с помощью этого же пакета производили подбор полиномиальной зависимости для описания наблюдаемой тенденции. Целью подбора являлось нахождение функции, описывающей изменение величины параметра Z во времени.

Это позволило бы на основании полученной зависимости спрогнозировать данные в промежуточные моменты времени, в нашем случае определялись ежемесячные значения величины. Отметим, что прогнозирование на будущие этапы времени в пакете Microsoft Excel, как правило, не производится в связи с высокой погрешностью.

Подбор параметров нелинейной зависимости велся отдельно для каждого значения Y , т.е. для каждой строки. Рассмотрим для примера подбор параметров для второй строки табл. 1.

Как известно, если имеется n точек, то можно найти уравнение степени $n-1$, которое точно описывает имеющуюся зависимость. Т.к. точек было пять, то подбирали уравнение четвертой степени.

На рис. 2. показаны окна работы модуля нелинейного оценивания, позволившие получить результат.

Уравнение для большинства точек подбиралось в виде

$$Z = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 + b_3 \cdot x^3 + b_4 \cdot x^4, \quad (1)$$

где b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 - подбираемые параметры модели, x – номер точки.

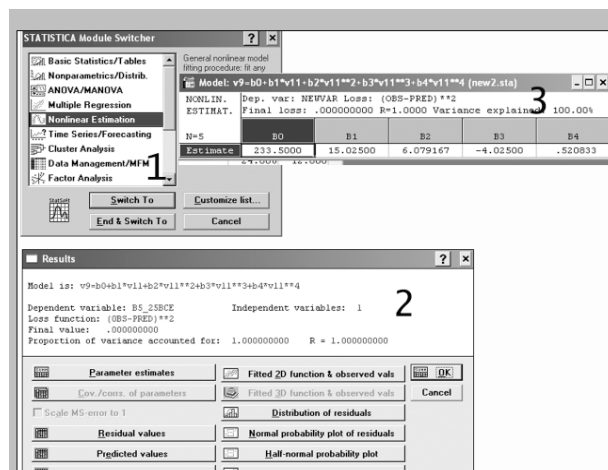


Рис.2. – Подбор параметров нелинейной модели
 1 – стартовое окно пакета Statistica; 2 – окно моделирования параметров; 3 – окно результатов

Часть точек, например, точки 1, 4, 11, 14... потребовали подбора зависимости другого вида, т.к. данные за последние два года не изменялись. Для этих точек подбирали кусочно-линейную функцию по формуле:

$$Z = \begin{cases} b_0 + b_1 \cdot x, & \text{если } x \leq brp \\ b_2 + b_3 \cdot x, & \text{если } x > brp \end{cases} \quad (2)$$

где *brp* – точка разрыва (break point).

В Microsoft Excel производились промежуточные расчеты, был задан шаг, равный 0.1, позволивший получить достаточное число точек для анализа в модели прогнозирования.

В верхней части экрана – расчеты для точки 2, ее номер указан в ячейке P1, в ячейку P2 введена формула для расчетов по уравнению 1 с использованием соответствующих коэффициентов b_i (строки 58 и далее вниз таблицы). Таким образом, после проведения расчетов в столбце P содержатся данные для значений x от 1 до 5 с шагом 0.1 (столбец M).

Расчеты были проведены для всех 45 точек исходных данных.

Минимальное значение переменной Z для исходных данных составляло 249.4, максимальное – 290.3. Для достижения большей точности было принято решение учитывать не сами значения, которые изменяются от 249 до 290, а величину их изменения, т.е. $Z-250$. Это позволило учитывать колебания значений с большей степенью точности. В столбце Q приводятся именно эти значения, вычисляемые как $Z-250$.

Получив достаточное для прогнозирования количество исходных данных, их перенесли в среду пакета Statistica, используя один из модулей пакета - «Анализ временных рядов / Прогнозирование».

В качестве параметрической модели была выбрана модель авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего. При подборе уравнений можно учитывать следующие составляющие: тренд t_t , сезонную составляющую S_t и циклическую компоненту C_t . Однако, с учетом того, что данные собирались вне зависимости от сезона, составляющая S_t в модели не учитывалась.

При нахождении авторегрессионной модели задаются два параметра:

p – определяет степень подбираемой модели авторегрессии, например, при $p = 1$ подбирается линейная модель;

q - определяет степень подбираемой модели скользящего среднего;

Как видно из копии экрана (рис. 3) авторами подбиралась модель при $p=3$; $q=3$.

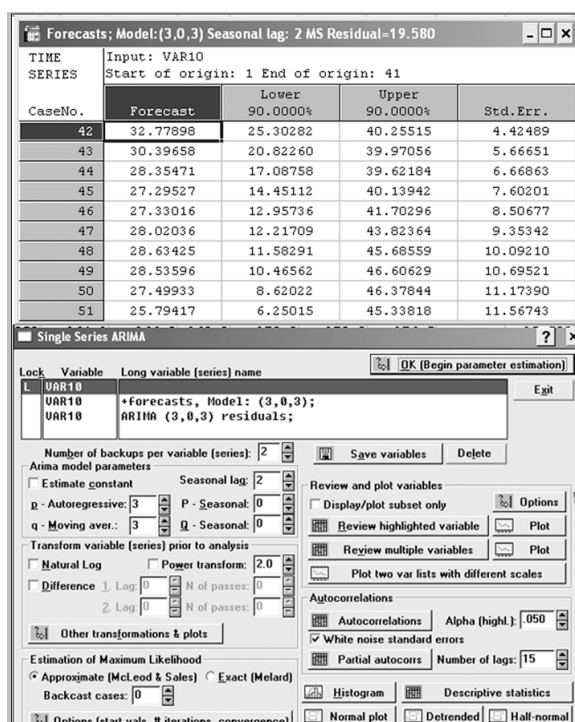


Рис. 3. Подбор параметров авторегрессионной модели

В верхней части экрана представлены полученные при прогнозировании результаты, в нижней – модель подбора. Прогнозируемые значения определялись как $Z = 250 + \text{прогноз}$. Значения прогноза брались из столбца Forecast (верхняя часть рис. 4). Т.к. вычисления производились для дискретных значений с шагом 0.1, то первое значение прогноза соответствовало величине 5.1, второе – 5.2... В таблице результатов использовалось последнее значение (номер 51 в столбце Forecast), которое соответствует величине изменяемого параметра 6. Напомним, что данные были собраны, начиная с 2005г. (номер 1), 2006г. (номер 2)... 2009г. (номер 5), следовательно, данные за 2010г.

соответствуют номеру шесть. Следовательно, величина, приводимая в строке 51 рис. 3 и соответствует искомой величине прогноза на 2010г.

На рис. 4. показан график значений прогнозируемой величины. Кроме экспериментально полученных точек на графике приведены прогнозируемые значения и границы 90% доверительного интервала.

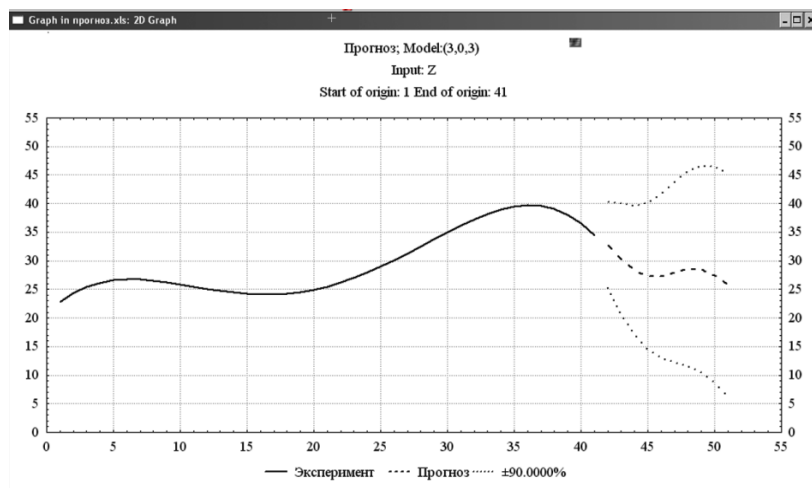


Рис. 4 – График прогнозируемых значений для точки 45

Авторами показаны расчеты, проведенные для одной точки, модели для остальных точек строились аналогично. Таким образом, были разработаны сорок пять моделей, позволяющих определить прогнозируемые значения параметра Z для каждого значения $У$.

Выводы

Таким образом, на основании выше приведенных исследований можно сделать вывод, что прогноз осуществляется для определения допустимой высоты породного отвала. Данный прогноз позволит осуществить мероприятия по формированию отвалов с точки зрения их рационального использования, т.е., чтобы отвал не расползлся, не осыпался и не занимал большое количество земли, предназначенное под отвалы.

Библиографический список

1. Борщевский С.В., Прокопенко Е.В. / Прогноз и управление рациональным размещением пород в отвале// Статья АСУ №10-11 2009