

$$K_n^{(0)} = \frac{(x_n + 1) \cdot \alpha_n}{d_{2(n)} + \chi_{0(n-1)}(d'_{1(n-1)} - K_{(n-1)}^{(0)} d'_{2(n-1)})}$$

где:

$$d_{2(n)} = 2 \cdot \left[ (1 - \nu_i^+) \cdot \alpha_i + \nu_i^+ \right];$$

$$\chi_{0(i-1)} = \frac{G_n}{G_{n-1}} \cdot \frac{1}{(c_{i-1}^{3\alpha_{i-1}-1} - c_{i-1}^{\alpha_{i-1}-1})}; \quad G_n = \frac{E_n^+}{2 \cdot (1 + \nu_n^+)};$$

$$x_n = 3 - \nu_n^+.$$

По вычисленным значениям коэффициентов передачи нагрузок определяют контактные напряжения для каждого слоя многослойной крепи и, используя выражения (3) производят расчет крепи ствола.

Литература

1. Амбарцумян С.А. Разномодульная теория упругости. М.: Наука, 1982. – 317 с.
2. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. М.: Недра, 1982. – 270 с.

УДК 622.016.62

## **МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

**Копылов А.Б., Харламов А.Е.**

*Тульский государственный университет*

*Прогнозирование технологических характеристик вмещающих пород и угольных пластов в пределах шахтного поля и установление закономерностей геомеханических процессов, протекающих вокруг очистных выработок, в совокупности обеспечивающих превентивное и оперативное обоснование параметров эффективной и безопасной комплексно-механизированной выемки пологих пластов в различных геотехнологических ситуациях.*

Для прогнозирования и учета влияния неуправляемых факторов на технологические процессы, связанные с перемещением секций механизированной крепи, выбором величины вынимаемой мощности, режимов работы комбайна целесообразно использовать трехмерную математическую модель, включающую параметры почвы, кровли и угольного пласта. Рассмотрев один из выемочных участков шахтного (рис. 1) поля свяжем с ним подвижную систему координат  $o_i x_i y_i z_i$ , причем начало выбранной системы координат  $o_i$  совпадает с началом  $i$ -го участка, а ось  $o_i x_i$  направлена вертикально вверх; ось  $o_i y_i$  направлена по длине выемочного участка по правилу левого винта.

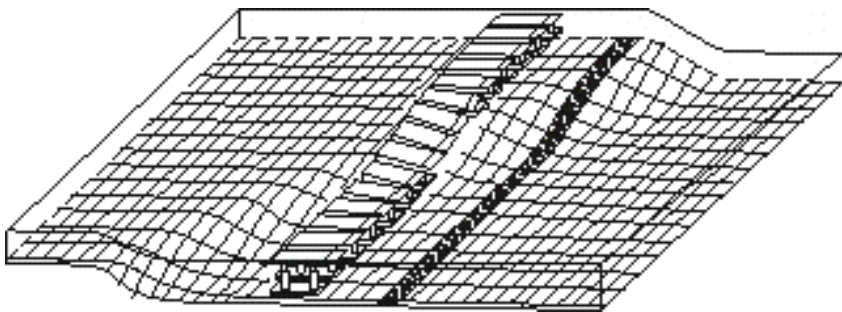


Рис.1. Схема расположения механизированного комплекса в пространстве угольного пласта

Произвольный параметр, представляющий ту или иную характеристику пласта, может иметь три составляющие по осям прямоугольной произвольной системы координат  $ox_i y_i z_i$ , связанной с  $i$ -ым участком шахтного поля. Значения этих составляющих в произвольной точке участка с координатами  $z_i, y_i$  обозначены как  $q_{xi}(z_i, y_i)$ ,  $q_{yi}(z_i, y_i)$ ,  $q_{zi}(z_i, y_i)$ . Каждую составляющую исследуемого параметра при любом характере ее распределения на  $i$ -ом участке можно представить в виде тригонометрических рядов в зависимости от координат  $z_i$  и  $y_i$  [2].

При значениях изучаемых параметров, полученных путем измерений, коэффициенты Фурье определяются по приближенным формулам гармонического анализа, полученным путем замены интегралов в суммировании по правилу трапеций [3].

Анализ показал, что для расчета величин влияющих параметров, характеризующих условия разработки пласта, сложные пространственные функции их распределения по площади участка целесообразно представлять тригонометрическими рядами в системе координат, связанной с контуром участка.

При решении задач, основанных на плоской расчетной схеме, достаточно рассмотреть изменение влияющих факторов по координате  $z$ , считая их независимыми от координаты  $y$ , или, наоборот, изменение по координате  $y$  при независимости от координаты  $z$ . При решении задач в пространственной постановке необходимо учитывать изменение влияющих параметров в зависимости от обеих координат.

Под прогнозированием понимается прогноз горно-геологических условий, выполненный до проведения подготовительных выработок на основе разведочного бурения и геофизических методов. Источником информации является разведочная сеть, так что при моделировании характе-

ристик условий залегания угольного пласта, значения исходных параметров в этом случае принимают по данным разведки. При этом тригонометрические полиномы выражают общие тенденции изменения отметки угольного пласта глубины, углов наклона, кривизны и скручивания пласта, а также всех других факторов, учитываемых в создаваемой на этой основе САПР крепей [4, 5].

Под участковым понимается прогноз характеристик условий залегания угольного пласта, выполненный после проведения оконтуривающих подготовительных выработок, т.е. после нарезки выемочного столба. Данные, полученные в результате маркшейдерских измерений в штреках, а также геофизического "просвечивания" столба из штреков, используются как дополнение к информации предварительного прогноза. В результате происходит корректировка перечисленных выше параметров математической модели и в соответствии с алгоритмом расчета "проигрывается" отработка выемочного столба, выявляются особые зоны, где нормальная работа крепей и оборудования осложнена.

Под оперативным прогнозированием понимается текущий, опережающий движение выработок расчет условий залегания угольного пласта по всему фронту очистного забоя и всей длине штреков с использованием базы данных, сформированной на основе предварительного и участкового прогнозов, а также дополнительной информации, полученной из наблюдений в забоях. На основе оперативного прогноза осуществляется оперативное управление технологическими процессами.

Как уже было отмечено, математическая модель является универсальной и пригодной для исследования любого изучаемого фактора. Практика показывает, что из влияющих факторов на первом месте стоят геометрические характеристики условий залегания угольного пласта: гипсометрия почвы пласта; угол наклона почвы пласта, обусловленный как его падением, так и сложностью гипсометрии и наличием геологических нарушений; кривизна почвы пласта; угол скручивания почвы пласта. Для исследования этих характеристик введена функция абсолютных отметок поверхности почвы пласта  $U(z,y)$ . Тогда математические выражения углов наклона почвы пласта в направлении движения очистного комплекса (ось  $z$ ) и в направлении, перпендикулярном движению (ось  $y$ ), определяются как частные производные от этой функции соответственно по координатам  $z$  и  $y$ .

Выражения для определения кривизны поверхности почвы пласта в плоскости  $хоу$ , параллельной его продольной оси, определяются как вторые частные производные от функции распределения соответственно по координатам  $z$  и  $y$ .

Выражение для определения угла скручивания поверхности пласта, а, значит, и скручивания комплекса относительно его продольной оси  $y$ , получено путем дифференцирования ее правой части по координате  $y$ .

Относительное скручивание, или, иначе, интенсивность скручивания пласта вокруг оси  $y$  получено как первая производная по оси  $z$  от функции углов скручивания.

В результате определяется относительный угол скручивания, т.е. отнесенный к единичному отрезку длины (1 метр) лавы, имеющей конкретные координаты  $x_i$  и  $y_i$ , взаимный поворот находящихся на некотором расстоянии друг от друга поперечных сечений комплекса вокруг оси  $y$ :

для функций абсолютных отметок почвы-кровли  $s$  и  $t$

$$U(y, z) = \sum_{n=0}^s \sum_{m=0}^t \lambda_{m,n} [a_{m,n} \Psi_1(y, z) + b_{m,n} \Psi_2(y, z) + c_{m,n} \Psi_3(y, z) + d_{m,n} \Psi_4(y, z)]; \quad (1)$$

для углов наклона почвы-кровли пласта в направлении осей  $z$  и  $y$

$$\theta_z(y, z) = \frac{\pi}{l} \sum_{m=0}^s \sum_{n=0}^t \lambda_{m,n} n [-a_{m,n} \Psi_2(y, z) + b_{m,n} \Psi_1(y, z) - c_{m,n} \Psi_4(y, z) + d_{m,n} \Psi_3(y, z)]; \quad (2)$$

$$\theta_y(y, z) = \frac{\pi}{l} \sum_{m=0}^s \sum_{n=0}^t \lambda_{m,n} m [-a_{m,n} \Psi_3(y, z) + b_{m,n} \Psi_4(y, z) - c_{m,n} \Psi_1(y, z) + d_{m,n} \Psi_2(y, z)]; \quad (3)$$

для кривизны поверхности

$$K_z(y, z) = \frac{\pi^2}{l^2} \sum_{m=0}^s \sum_{n=0}^t \lambda_{m,n} n^2 [-a_{m,n} \Psi_1(y, z) - b_{m,n} \Psi_2(y, z) - c_{m,n} \Psi_3(y, z) - d_{m,n} \Psi_4(y, z)]; \quad (4)$$

$$K_y(y, z) = \frac{\pi^2}{l^2} \sum_{m=0}^s \sum_{n=0}^t \lambda_{m,n} m^2 [-a_{m,n} \Psi_1(y, z) - b_{m,n} \Psi_2(y, z) - c_{m,n} \Psi_3(y, z) - d_{m,n} \Psi_4(y, z)]; \quad (5)$$

для относительного скручивания

$$\theta_k(y,z) = \frac{\pi^2}{Ll} \sum_{m=0}^s \sum_{n=0}^t \lambda_{mn} nm [a_{mn} \Psi_4(y,z) - b_{mn} \Psi_3(y,z) - c_{mn} \Psi_2(y,z) + d_{mn} \Psi_1(y,z)] \quad (6)$$

для взаимных поворотов

$$\Delta\theta_k(\Delta Y) = \theta_z(y_2, z) - \theta_z(y_1, z). \quad (7)$$

Как известно, при сложной гипсометрии почвы пласта "вписывание" очистного комплекса за счет его изгиба в параллельном лаве профиле пласта, т.е. в плоскости  $yox$ , вызывает определенные затруднения и сопровождается присечкой вмещающих пород или оставлением угольной пачки в кровле или почве пласта. К аналогичным негативным явлениям приводит также "невписываемость" секций комплекса в пласт при их передвижке вслед за забоем. При возникновении перемещений  $x(y)$  и  $z(y)$  происходит уменьшение проектной длины комплекса, что требует установки дополнительных секций на флангах очистного забоя.

Для управления этими процессами необходимо иметь гибкую систему сбора информации и оперативного прогнозирования условий работы очистного комплекса. Речь идет о создании САПР гибкой технологии отработки участков шахтных полей с применением очистных механизированных комплексов. Положение комплекса определяется в двух плоскостях (рис. 2) по направлению движения комплекса и вдоль линии очистного забоя. На рисунке приведен пример прогнозирования поверхности залегания почвы угольного пласта на интересующем нас участке.

Для определения рационального положения комплекса и определения объемов присечки и оставляемой угольной пачки необходим ряд действий порядок которых определен на (рис.3).

Получаемые объемы присечки и оставляемой угольной пачки можно найти, воспользовавшись следующими формулами.

$$V_{прис} = \int_0^L \int_0^l U_{пласта}(y, x, z) dx dz - \int_0^L \int_0^l U_{компл.}(y, x, z) dx dz; \quad (8);$$

$$V_{прис} = \int_0^L \int_0^l U_{компл.}(y, x, z) dx dz - \int_0^L \int_0^l U_{пласта}(y, x, z) dx dz, \quad (9).$$

где  $V_{нач}$  – площадь оставляемой угольной пачки,  $m^2$ ;

$V_{прис}$  – площадь присечки,  $m^2$ .

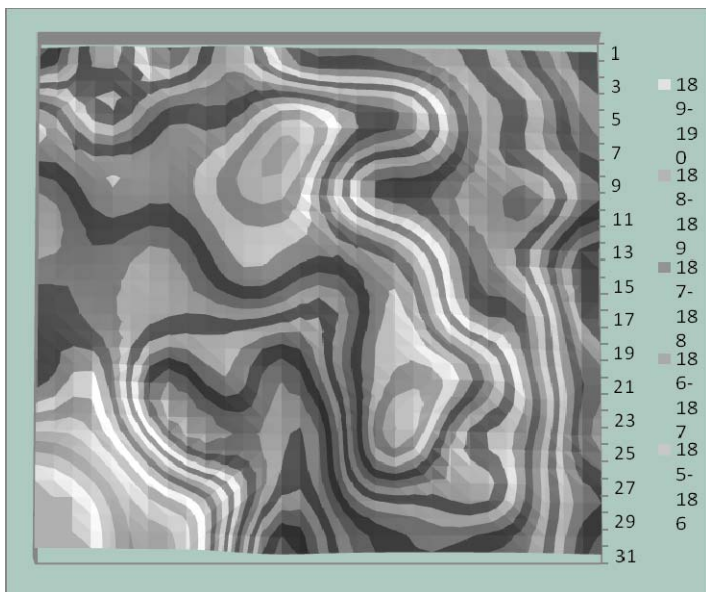


Рис. 2. Прогнозирование поверхности почвы угольного пласта

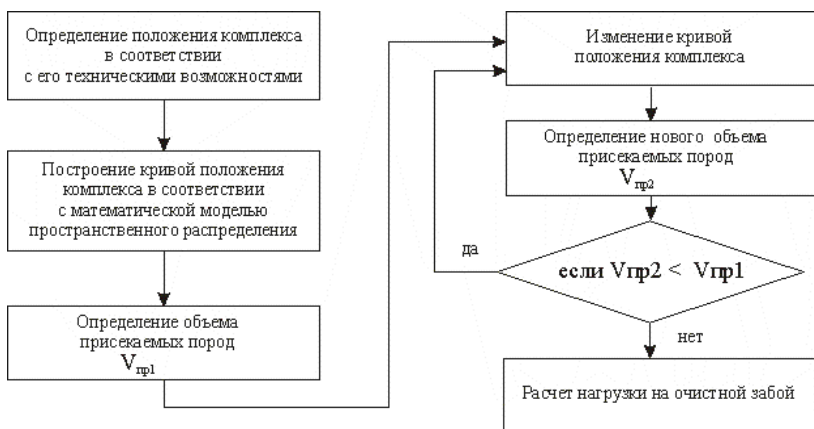


Рис. 3. Блок схема для определения объема присечки и нагрузки на забой

В результате проведенных исследований появилась возможность определения расчетных параметров на необходимом участке. Весь расчетный участок шахтного поля разбивается на элементарные участки, на которых известны все необходимые для работы программы данные: глубина залегания выработки, характеристики непосредственной, основной кровель и почвы угольного пласта. Получены математические выражения для аппроксимации функций распределения по площади выемочного участка геометрических характеристик условий залегания угольного пласта: углов наклона почвы и кровли пласта, обусловленных как его наклонным залеганием, так и сложностью гипсометрии и наличием нарушений кривизны почвы и кровли пласта; углов скручивания пласта. При этом учитывается изменение изучаемых факторов как в направлении движения комплекса, так и вдоль очистного забоя.

Математически сформулированы условия "вписываемости" очистного комплекса в разрабатываемый угольный пласт с учетом характеристик залегания угольного пласта и предельной "гибкости" конструкции комплекса при его изгибе в двух плоскостях и скручивании. Определены условия возникновения угольных пачек и присечки вмещающих пород для определения потерь угля и разубоживания добываемой горной массы.

Данная методика позволяет производить расчет параметров движения механизированных крепей очистных комплексов с учетом влияния максимального количества любых горно-геологических и производственных факторов.

#### Литература

1. Каретников В.Н., Клейменов В.Б., Бреднев В.А. Автоматизированный расчет и конструирование металлических крепей подготовительных выработок. М., Недра, 1984. 312 с.
2. Козлов С.В., Каретников В.Н., Туляков С.П. Автоматизированный расчет характеристик угольного пласта и оценка вписываемости в него очистного комплекса. Подземная разработка тонких и средней мощности угольных пластов. Тула 1998 г. с.18-26.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. М., 1980 г., 976 стр. с илл.
4. Каретников В. Н., Клейменов В. Б., Нуждихин А. Г. Крепление капитальных и подготовительных выработок. Справочник. - М.: Недра, 1989. - 571 с.: ил.
5. Черняк И. Л., Бурчаков Ю.И. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт. М., Недра, 1984.