

УДК 622.831.22.016

В. Ф. Демин, Н.Н. Тулепов, В.В.Демин

МОДЕЛЬ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНЕ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК НА БАЗЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Безопасность работ в шахтах всегда являлась основным и крайне важным фактором, в связи с чем разработка технологических решений по уменьшению давления на выработку является актуальным научным направлением при подземной добыче угля. Одним из возможных решений этой проблемы может быть создание бутовых полос в приконтурной зоне горных выработок со стороны выработанного пространства [1]. Для этого необходимо определение рациональных параметров бутовых полос для уменьшения давления вышележащих горных пород на подготовительную выработку.

Для установления целесообразности применения породных искусственных сооружений для охраны подготовительных выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна

создана «автоматизированная информационная система анализа состояния горных выработок» (АИС АГВ). Система используется для формирования данных, моделирования горно-геологических процессов и вывода результатов расчетов в графическом виде.

Для моделирования применяется дискретная модель, которая создана в программной среде *Ansys* [2, 3] в соответствии с уравнениями теории упругости по методу конечных элементов. В задаче решается система канонических уравнений равновесия, связывающих перемещения точек тела с действующими на него усилиями:

$$K \cdot u = f,$$

где K - матрица жесткости; u - вектор-столбец перемещений узлов одного элемента; f - вектор-столбец сил, действующих

на элемент.

Матрица жесткости и вектор-столбец сил рассчитываются по формулам:

$$K = \int_v B^T D B dv;$$

$$f = - \int_v N^T \begin{Bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{Bmatrix} dv - p -$$

$$- \int_v B^T D \varepsilon_0 dv - \int_S N^T \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{Bmatrix} ds,$$

где B^T - матрица градиентов, связывающая деформации и перемещения; D - матрица упругих характеристик, описывающая механические свойства; v - объем тела; N^T - матрица функций формы (показывает зависимость механических свойств элемента от его формы); f_x, f_y, f_z - вектор-столбец объемных сил в виде проекций по осям координат; p_x, p_y, p_z - поверхностные нагрузки; ε_0 - начальная деформация элемента; p - вектор-столбец узловых сил.

Для получения исходных данных моделирования в разработанной системе предусмотрено формирование технологических данных, описывающих напряженно-деформированное состояние горных пород в приконтурной зоне горной выработки. К ним относятся:

- горнотехнологические характеристики горной выработки (размеры, форма, реакции несущих бутовых опор, глубина залегания);
- горногеологические условия залегания (мощность и характеристики пласта, вмещающих пород, составляющих горный

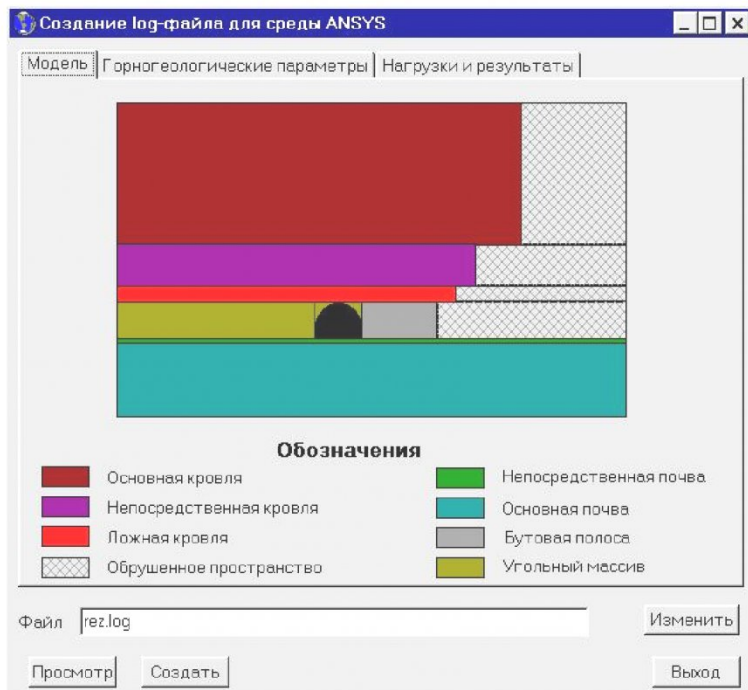


Рис. 1. Представление модели в среде Ansys

массив).

Полученные данные вводятся в систему инженерного проектирования *Ansys* с помощью программного модуля «Формирования модели для *Ansys*» АИС АГВ. На выходе получают *log*-файл, который содержит корректную модель для ввода в среду *Ansys*.

Геометрический вид данной модели в *Ansys* представлен на рис. 1.

Log-файл, содержащий модель, содержит следующие данные:

- горно-геологические параметры пластов, которые представляют собой совокупность слоев породы, каждый из которых имеет свое положение, размеры и свойства;

- нагрузки и силы, действующие на верхнюю кромку моделируемого пространства (определяется исходя из глубины залегания выработки и плотности слоев породы) и реакции крепей горной выработки;

- закрепление модели (на рис. 1 закрепление указано треугольниками);

- размер симплекс-элемента – размер элементов, на которые разбивается модель;

- параметры решения.

Размер симплекс-элемента влияет на точность результата и время расчета: чем меньше элемент, тем выше точность и больше время расчета. Приемлемые результаты моделирования могут быть получены при разбиении тела модели на симплекс-элементы с размерами $0,3 \times 0,3 \text{ м}^2$.

Закрепление модели является обязательным для того, чтобы ее тело не перемещалось в пространстве. Закрепление позволяет моделировать только часть горного массива, закрепив линии «выреза» модели из земной поверхности по соответствующим осям.

На этапе формирования модели производится ввод исходных данных, для их обработки и выдача *log*-файла с расчетной схемой модели, корректной с

	Модуль упругости, ГН/м²	Модуль Пуассона	Плотность, кг/м³	Мощность пласта, см
Основная кровля	12.00	0.20	2500	
Непосредственная кровля	10.00	0.20	2500	350
Ложная кровля	6.00	0.25	2400	150
Уголь	5.00	0.25	2080	320
Бутовая полоса	5.00	0.25	2080	
Непосредственная почва	7.50	0.25	2080	100
Основная почва	12.00	0.20	2500	
Обрушенные породы	0.50	0.25	2000	

Рис. 2. Интерфейс программного модуля ввода данных

точки зрения ввода в среду *Ansys* (рис. 2).

Оценка варианта технологической схемы производится по полученным значениям параметров для симплекс-элементов, которые находятся на плоскости, проходящей через кровлю горной выработки. По этим данным строятся графики зависимостей напряжений от

координаты нахождения (рис. 3).

Так как среда *Ansys* предназначена для инженерной интерпретации, то её целью является анализ определенных наборов данных, а сравнение же полученных результатов моделирования разных технологических схем производится в отдельном программном модуле

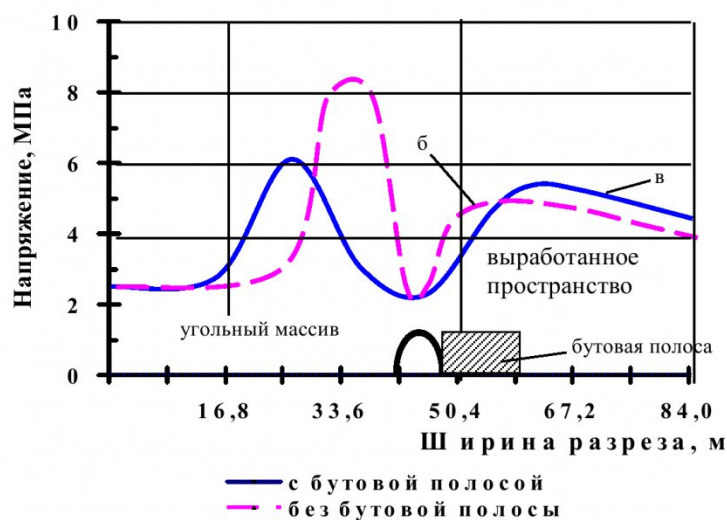


Рис. 3. Напряжения в приконтурной зоне выработки σ_m без - (б) и с искусственными охранными сооружениями (бутовой полосой - в) по ширине разреза массива горных пород L_n

«Визуализация данных анализа» (ВДА). Данный модуль написан на языке *VBA 6.0*, где строятся диаграммы *Excel*.

В приведенной таблице представлены числовые данные (например, пик напряжения, расстояние от выработки до него, максимальное напряжение над выработкой и т. д.), по которым можно сравнивать модели.

Изучение на геомеханических моделях параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород при варьировании управляемости пород кровли, глубины разработки, мощности пласта, ширины и прочности породных полос (опор) позволили выявить влияние каждого из указанных факторов на эксплуатационное состояние выемочных выработок. Исследования НДС приконтурного массива выемочных выработок показали, что картина напряжений при возведении породных опор (полос) для охраны выемочных выработок в массиве горных пород резко меняется.

В ходе исследований были получены результаты по зависимости параметров распределения давления над горной выработкой (напряжения горного давления в приконтурной зоне выемочной выработки - σ_v , напряжения на обресе блоков ос-

Сводная таблица результатов для различных технологических схем

Ширина бутовой полосы, м	Напряжения над выработкой, МПа			Пик напряжений над обрушенным пространством	
	по левому срезу	по центру	по правому срезу	расстояние от правого среза выработки до пика, м	давление, МПа
2	1,18	-2,25	-1,87	2,87	11,91
10	1,06	-2,3	-1,86	10,26	30,1
20	1,45	-3,21	-2,0	24,18	45,5

новной кровли - σ_o , смещения пика напряжений на обресе блоков основной кровли - C) от свойств бутовой полосы (прочности возведенной бутовой полосы - E_n и ширины охранной породной полосы - e_n) и горно-геологических характеристик пласта (мощности пласта - m , прочности пород кровли - E_k и почвы - E_n).

Согласно полученным численным данным можно сделать следующие выводы:

- величина управляемости пород кровли оказывает при наличии жестких породных полос не очень существенное влияние на параметры НДС, увеличивая концентрации напряжений в массиве (σ_m) на 5-10%, оставляя их неизменными над охраняемой выработкой;

- конвергенция крепи

горных выработок растет по прямо пропорциональной зависимости от мощности пласта, управляемости пород кровли, глубины разработки и времени отработки запасов и не зависит от угла падения при его изменении до круто-наклонных пластов;

- напряжения горного давления в приконтурной зоне выемочной выработки (σ_v) растут с уменьшением выемочной мощности пласта (m).

Выполненные исследования позволили установить механизм проявлений горного давления при охране выемочных выработок бутовыми изолирующе-несущими сооружениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование в геомеханике / Под ред. Ф. П. Глумихин и др. -М.: Недра, 240 с.
2. *Сегерлинд Л.* Применение метода конечных элементов: Пер. с англ. / Под ред. Б. Е. Подбери. -М.: Мир, 1979. 392 с.
3. *Тимошенко С. П., Гудьер Дж.* Теория упругости: Пер. с англ./ Под ред. Г. С. Шапиро. 2-е изд. - М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1979. 560 с.

□ Авторы статьи:

Демин
Владимир Федорович
- докт. техн. наук, зав. каф. разработки месторождений полезных ископаемых
(Карагандинский государственный технический университет)

Тулупов
Нурлан Нарманбетович
- соискатель каф. разработки месторождений полезных ископаемых
(Карагандинский государственный технический университет)

Демин
Виталий Владимирович
- соискатель каф. разработки месторождений полезных ископаемых
(Карагандинский государственный технический университет)