

где:  $L_a^*$ ,  $L_a$  - новое и старое значение акустической массы трубопровода;  $\gamma$  - доля вертикальных участков в магистрали трубопровода.

Результаты расчета по формуле (19) приведены на рис. 6. Из рисунка видно, что предлагаемым способом можно изменить акустическую массу трубопровода на величину от 10 до 60% и удовлетворить, таким образом, условия устойчивости рабочего режима проектируемой установки.

Таким образом, для всех выделенных расчетных схем систем асрации и обеспыливания технологий обогащения минерального сырья получены математические модели, учитывающие динамические и колебательные процессы, определены условия устойчивости этих систем и предложена общая методика расчета устойчивых режимов работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по обогащению углей / Беринберг З.Ш., Благоев И.С., Борц М.А. и др. - М.: Недра, 1934. - 414 с.
2. Потурев В.Н., Волошин А.И., Пономарев Б.В. Вибрационно-пневматическое транспортирование сыпучих материалов. - К.: Наук. думка, 1989. - 248 с.
3. Справочник по обогащению руд. Обоганительные фабрики. - М.: Недра, 1984.
4. Разумов К.А., Перов В.А. Проектирование обоганительных фабрик. - М.: Недра, 1982. - 518 с.
5. Самылин Н.А., Бутовецкий В.С. Водовоздушное хозяйство углеобоганительных фабрик. - М.: Недра, 1982. - 197 с.
6. Руденко К.Г., Шемахов М.М. Обезвоживание и пылеулавливание. - М.: Недра, 1981. - 350 с.
7. Семененко Е.В., Дзюба С.В. Аналитическое исследование расходно-напорной характеристики трубопровода пневмотранспортной установки // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2000, №6. - С.65-67.
8. Казакевич В.В. Автоколебания (помпаж) в компрессорах. - М.: Машиностроение, 1974. - 264 с.
9. Смолдырев А.Е. Гидро- и пневмотранспорт. - М.: Metallurgia, 1975. - 384 с.
10. Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. - 304 с.

УДК 622. 834.2-112.22

А.М. Кузьменко

### ДЕФОРМАЦИЯ ПОРОД КРОВЛИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА В ЗОНАХ ЛИТОЛОГИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СЛОИСТОГО МАССИВА ПРИ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКЕ

Изложены результаты моделирования и механизм деформации пород кровли угольного пласта в зоне литологической неоднородности при изменении направления прохождения очистной выработки этой зоны.

В выемочном поле одного горизонта разработка угольных пластов сопровождается частой сменой полей напряжений. Причиной тому могут быть как природные факторы, так и искусственно созданные. Наиболее часто встречаются случаи замещения литологических разностей во вмещающих породах. Причем величина замещения толщины слоя литологической разности колеблется от нулевого значения, т. е. полное вклинивание до десятка метров. Они создают гравитационные поля напряжений горизонтальная составляющая, которых отличается от исходной величины по абсолютному значению, для которого принималось техническое решение. Аналогичная ситуация создается и при переходе очистным забоем зон повышенного горного давления, которые создают целики угля, оставленного на вышерасположенном пласте. Переход такой зоны сопряжен с определенными трудностями в виде вывалов породы, пригрузки крепи и деформации контура подготовительных выработок. Однако последствия перехода имеют не всегда одинаковый результат. Все зависит от направления

движения очистного забоя относительно формирования нагрузки на угольный пласт. В выемочном поле пласта формируются переходные зоны между полями или зонами с различным напряженно-деформированным состоянием слоистого породного массива.

Из теоретических исследований известно, что сингуляционные поля напряжений отражают распределение напряжений с учетом коэффициентов интенсивности, которые определяются экспериментально. Величина этих коэффициентов различна. Она изменяется во времени в зависимости от геологической структуры и интенсивности действия источника возмущения. Учесть в аналитических расчетах эту многофакторную зависимость весьма сложно. Поэтому для решения задач по определению влияния очистного забоя на распределение напряжений в переходных зонах использовались численные методы [182, 183, 184]. Решение задачи выполнено в плоской постановке. В модели реализована упругая и жесткопластичная среда с внутренним трением. В ее основу положена деформационная постановка, гарантирующая единственность полученных решений, соосность напряжений и деформаций.

Объектом исследования служили угольный пласт и породы вокруг очистной выработки в переходных зонах, которые имеют место по пласту  $m_3$  - Толстый гор. 860 м шахты им. А.И. Гаевского. Пласт  $m_3$  - Толстый сложного строения, имеет угол падения пласта  $57-58^{\circ}$  и мощность от 0,65 до 1,04 м. Относительная газообильность изменяется от  $29,1 \text{ м}^3$  до  $42,1 \text{ м}^3$  на тонну суточной добычи. Угольная пыль взрывоопасна. Пласт особо опасный по внезапным выбросам угля и газа. В свите является наиболее представительным и разрабатывается как одиночный пласт.

Расчетная схема включала часть угольного пласта с вмещающими породами вне зоны влияния подготовительных выработок. Сечение исследуемой области по нормали к пласту имела размер по простиранию 76 м и по 22 м в сторону кровли и почвы. Очистной забой помещался посередине исследуемой области. Слева от него принят угольный пласт и справа - рабочее пространство, закрепленное деревянной крепью, вслед за которым располагалось выработанное пространство с обрушенными породами.

Исследуемая область разбивалась на треугольные элементы, ограниченные по высоте мощностью литологической разности. По простиранию разбивка на элементы производилась с учетом точности полученного результата и динамики подвигания очистного забоя. Исходя из этих принципов, в зоне влияния очистного забоя шаг разбивки составлял 2 м и за его пределами в сторону угольного пласта - 4 м и выработанного пространства - 4-5 м. Перемещение узлов в шарнирных опорах по границам в направлении простирания равны нулю, а в направлении восстания и падения определялись расчетом. Для равновесия системы в нижней части исследуемой области было принято жесткое закрепление по углам. Нагружение элементов расчетной схемы производилось по нормали к пласту с учетом углового положения исследуемой области к направлению действия горизонтальной оставляющей силового поля. Экспериментальными исследованиями было установлено, что на глубине 860 м породы испытывают на-

грузку по горизонтальной оси, равную 1,4 и 1,9γН. Исходя из этого, для зон были приняты силы, равные 1,3 и 1,8γН, соответственно впереди и позади забоя. Между этими зонами располагалась переходная зона. В модели ее ширина составляла 24, 12, 4 и 2 м при неизменной величине сил нагрузки массива за пределами переходной зоны. В переходной зоне нагружение силовых узлов производилось линеализовано, плавно от высоких к низким силовым нагрузкам.

Физико-механические свойства пород задавались послойно, согласно стратиграфической колонке пласта  $m_3$  – Толстый.

Непосредственная кровля пласта представлена песчано-глинистым сланцем темно-серого цвета, сложным, трещиноватым, нижний контакт четкий, средней устойчивости, коэффициент крепости  $f=5-7$ . Мощность изменяется от 4,2 м до 7,8 м.

В основной кровле залегает сланец песчаный, темно-серый, слоистый с частыми прослоями песчаника, трещиноватый, средней устойчивости коэффициент крепости  $f=7-8$ . Мощность слоя колеблется от 5,3 до 12,3 м.

В непосредственной почве пласта расположен песчано-глинистый сланец со слабовыраженной слоистостью, крепкий, средней устойчивости коэффициент крепости  $f=6-7$ . Мощность слоя до 4 м и более. Ниже непосредственной почвы чередуются песчано-глинистые сланцы разной мощности, переходящие через слой известняка в песчаники.

Для выработанного пространства элементы модели имели значения прочностных свойств, равные 30% от нетронутого массива, а в рабочем пространстве очистного забоя значения, характеризующие прочностные свойства хвойных пород леса вдоль волокон, заниженные на 20%. Таким образом учитывались условия смятия распила и податливости деревянных стоек при их нагрузке. Этот прием позволял учитывать сближение пород при выемке пласта до установки стоек призабойной крепи.

Вхождение очистного забоя в переходную зону моделировалось путем перемещения силовых нагрузок на соответствующие узловы элементы исследуемой области. Очистной забой постоянно находился в центре расчетной схемы, а силы двигались на очистной забой со стороны угольного пласта. Шаг перестановки сил соответствовал суточному подвиганию очистного забоя.

На гор. 860 м по пласта  $m_3$  – Толстый выполнялся комплекс инструментальных исследований, что дало возможность сопоставить полученные результаты моделирования с натурными измерениями, а отдельные из них использовать в качестве исходных данных.

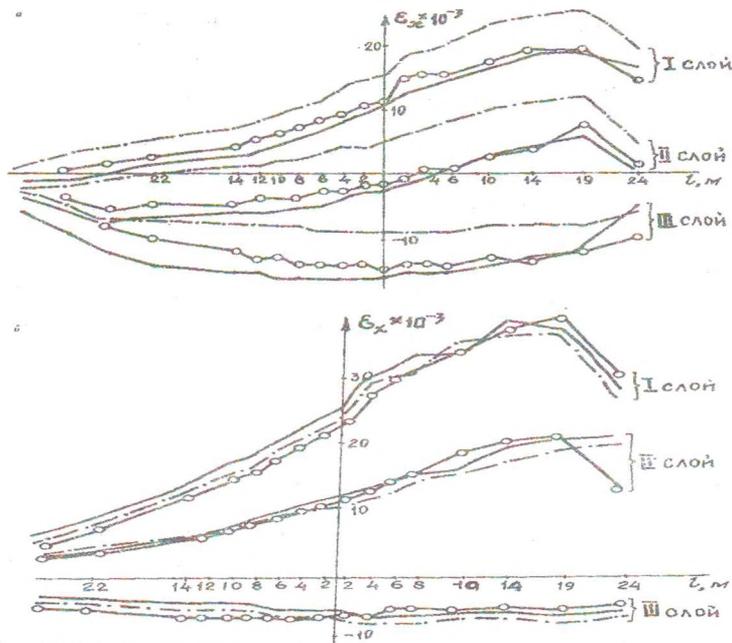
Первоначально напряженно-деформированное состояние породного массива устанавливалось при равномерно распределенной нагрузке, соответствующей одной из зон. Таким образом, определялась ширина зоны опорного давления впереди очистного забоя. Затем за пределами этой зоны производилась перестановка сил, отвечающая значениям одной из зон повышенного или пониженного напряженно-деформированного состояния. Нагружение узловых элементов в переходной зоне рассчитывалось после каждого шага подвига забоя. За точку отсчета расстояния в глубину массива принято положение очистного забоя.

Оценка изменения напряженно-деформированного состояния породного массива производилась по точкам, находящимся на высоте 0,5 и 0,9 м в кровле пласта. Высоту точек принято из соображений, что на контакте двух литологических разностей возникают наибольшие значения напряжений, приводящие к образованию "ложной кровли".

В переходных зонах деформации массива оценивались по перемещениям силовых узлов, расположенных на границе литологических разностей.

Первый ряд узлов составил линию на границе угольного пласта с кровлей, второй - между первым и вторым слоями кровли и третий - между вторым и третьим.

На рис. 1, а приведены графики узловых деформаций  $\epsilon_x$  по трем линиям при входе очистным забоем в зону высоких нагрузок.



а - при входе очистного забоя в зону высоких нагрузок;

б - при входе очистного забоя в зону низких нагрузок

Рис. 1 - Деформация породного массива вокруг очистной выработки.

Деформации узлов имеют весьма широкий диапазон изменения. Промежуточные положения очистного забоя в переходной зоне между зонами низких и высоких нагрузок характеризуется меньшими деформациями от исходного и конечного положения забоя в переходной зоне. Это отмечается лишь на контакте с угольным пластом. Во втором и третьем рядах деформации имеют абсолютно большие значения по отношению к исходному и конечному положению.

На второй линии на расстоянии 4-6 м от забоя они меняют направление в сторону выработанного пространства. Образовавшийся из деформаций "силсовой каток" зажимает массив над рабочим пространством очистного забоя. В целом же деформации узловых элементов изменялись в зависимости от величины подвигания очистного забоя вглубь переходной зоны. При этом деформации изменялись не пропорционально росту нагрузки, а волнообразно. В отдельных точках величина таких колебаний отличалась в два раза. Деформации силовых узлов  $\varepsilon_y$  снижались пропорционально увеличению нагрузки.

При выходе очистного забоя из зоны высоких нагрузок механизм деформации силовых узлов  $\varepsilon_y$  отличается от описанного выше. Зона расхождения в деформациях по точкам значительно сузилась, а интенсивность их в зоне опорного давления возросла (рис. 1, б). Первоначально деформации незначительно увеличиваются. Затем они практически остаются на одном уровне, вплоть до выхода очистного забоя в зону низких напряжений и лишь там уменьшаются.

Сравнивая значения деформаций  $\varepsilon_x$  по двум направлениям движения очистного забоя по переходной зоне необходимо отметить, что общий уровень деформаций при выходе из зоны высоких напряжений выше, чем при входе в нее. Над рабочим пространством забоем она превышает в два раза. Характерной особенностью является то обстоятельство, что при проходе очистным забоем переходной зоны не удается достичь результата, который был при обратном порядке нагружения породного массива. Вероятно, здесь сказывается роль мощности зависающих слоев кровли над выработанным пространством. Они догружают массив впереди забоя, компенсируя тем самым разницу нагружений. Это подтверждает и тот факт, что деформации также остаются стабильными на большей части пути подвигания очистного забоя в переходной зоне.

Выводы. Механизм деформации слоистого массива пород зависит от направления прохождения очистными забоями зон различной напряженности, что сказывается на формировании «ложной кровли» в литологических разностях и обрушении пород в рабочее пространство забоя.

УДК 622.271.3.001.63.:681.3.06

И.Л. Гуменик, В.В. Панченко, А.М. Иванов, В.В. Ковалёв  
**МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА СОСТАВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ В САПР ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КАРЬЕРА**

У статті викладається підхід до рішення задачі вибіру технологічного устаткування залізорудних кар'єрів заснований на застосуванні експертних систем (ЕС) для прийняття інженерних рішень. Дослідна перевірка швидкого прототипу ЕС підтвердила ефективність цього підходу до рішення даної задачі і послужила основою для розробки дослідницького та промислового зразка ЕС.

Постановка задачі. Как известно, задача выбора состава комплекса технологического оборудования железорудного карьера решается при его проектировании и реконструкции, а также при замене оборудования в ходе его эксплуатации. Важность её эффективного решения обуславливается значительными раз-