УДК 622.273.2:622.831

А.П.ГОСПОДАРИКОВ
профессор кафедры математики
Ю.Г.СИРЕНКО
доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых
М.А.ЗАЦЕПИН,
аспирант кафедры разработки месторождений полезных ископаемых

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КРОВЛИ С УЧЕТОМ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ В УСЛОВИЯХ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Отработка пластовых месторождений связана с техногенным «возмущением» специфической среды – массива горных пород. Данный объект весьма сложен по строению, различен по механическим свойствам и характеризуется широким разнообразием законов изменения его напряженно-деформированного состояния (НДС). Очевидно, что изучение параметров механических процессов в таких средах методически не может быть предопределено использованием данных только натурных экспериментов, либо данных только лабораторных исследований или же результатов аналитических расчетов.

Development of bedded deposits is associated with man-caused distortion of specific environment – the rock massifs, which are very complicated in their composition, can vary significantly in mechanical properties and are characterized with a wide variety of laws and techniques to assess thier stress and strain state. It is obvious that studying parameters of mechanical processes taking place in such environs can not be methodologically restricted to exclusive application of real experiment data, or laboratory data or analytical calculations.

Геологическое строение Третьего калийного пласта Старобинского месторождения определяет способ его выемки с разделением на слои. Вначале отрабатывается четвертый сильвинитовый слой, называемый верхним, мощностью около 1 м, а затем, через 4-6 лет, под защитой межслоевой пачки каменной соли, третий и второй сильвинитовые слои, называемые нижним слоем (общей мощностью с учетом прослойки каменной соли II-III – 2 м).

Система разработки длинными столбами с обрушением и частичной закладкой выработанного пространства (рис.1) является прогрессивной и экономически выгодной по сравнению с камерной системой разработки, так как позволяет уменьшить не только потери руды в недрах до 20 %, но и улучшить качество руды до 40 %, что влечет за собой снижение себестоимости продукции в целом.

Основные параметры предлагаемой системы разработки: длина столба 2200 м; длина лавы 150-200 м; ширина панели 2,11 м, в том числе сильвинитового слоя 1,47 м, галитового слоя 0,64 м.

Исследование и опыт внедрения селективной выемки при разработке Старобинского месторождения подтвердили ее достаточную эффективность. В результате ее применения можно решить следующие задачи:

- повысить безопасность ведения горных работ за счет рационального управления кровлей;
- уменьшить проседание земной поверхности за счет закладки выработанного пространства;
- снизить затраты на производство калийных удобрений.

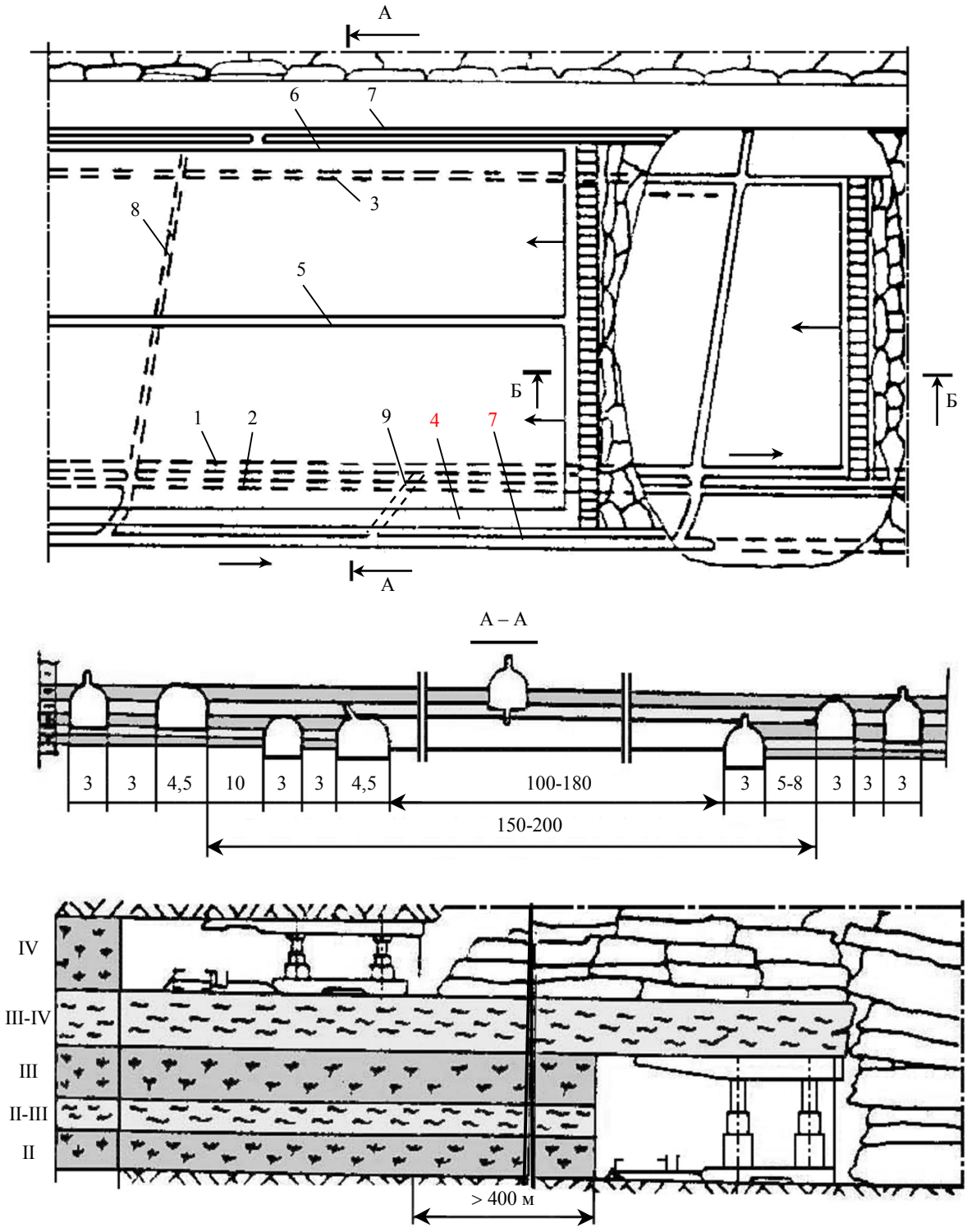


Рис.1. Типовая технологическая схема выемки Третьего пласта с разделением на слои и раздельной подготовкой слоевых лав

1 и 2 – конвейерный и транспортный панельные штреки соответственно; 3 – вентиляционный штрек нижней лавы; 4, 5 и 6 – конвейерный, вентиляционный и транспортный штреки верхней лавы; 7 – разгружающие выработки; 8 – вспомогательные выработки; 9 – конвейерные сбойки

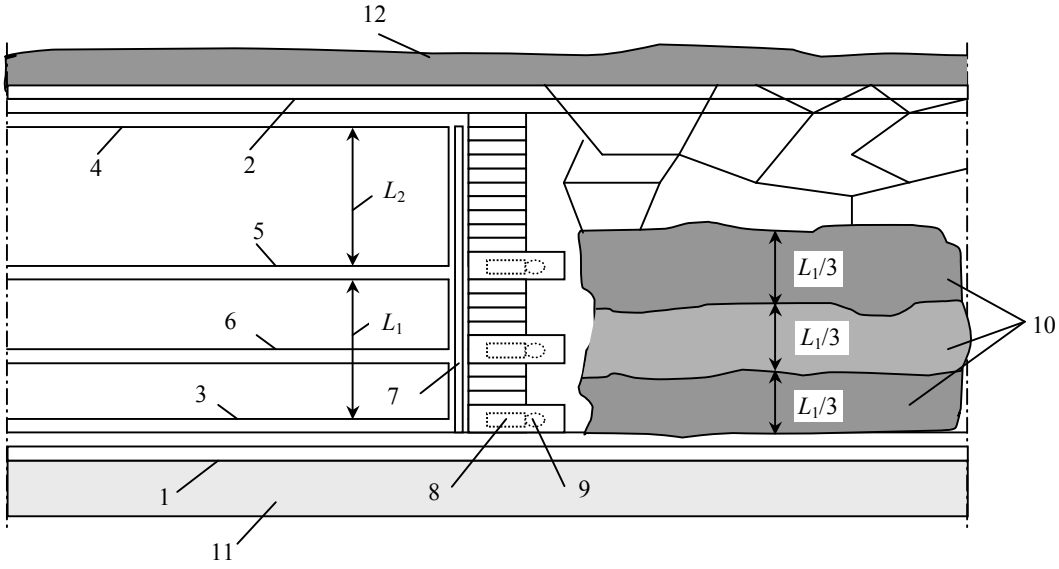


Рис.2. Способы управления труднообрушаемой кровлей

1 – панельный конвейерный штрек; 2 – разгружающий штрек; 3 – конвейерный штрек лавы; 4 – транспортный штрек лавы; 5 – центральный вентиляционный штрек; 6 – закладочный штрек; 7 – забойный конвейер; 8 – перегружатель; 9 – метатель; 10 – бутовые полосы; 11 – неотработанный участок шахтного поля, в котором подготавливается следующий выемочный столб; 12 – бутовая полоса отработанного столба; L_1 – длина первой полулавы; L_2 – длина второй полулавы; $L_1/3$ – ширина бутовой полосы

Анализ произошедших динамических обрушений основной кровли за последние 20 лет показал, что подавляющее большинство случаев (95 %) происходит в полулаве со стороны массива. Разрушенного галита с учетом коэффициента разрыхления солей $K_р = 1{,}37$ недостаточно для полной закладки выработанного пространства (заполняется около 40 %), поэтому необходимо усовершенствовать схему расположения галита в выработанном пространстве.

Так, на Старобинском месторождении в результате применения метателей повышенной производительности удалось осуществить схему размещения закладки в выработанном пространстве и способ управления кровлей (рис.2).

При данной схеме разработки производится полная забутовка выработанного пространства первой полулавы, которая располагается со стороны массива. Панельный конвейерный штрек с одной стороны ограничен массивом полезного ископаемого, а с другой – бутовой полосой, параметры которой, при данной ширине, восстанавливают свойства массива. Следовательно, данная выработка не попадает в выработанное пространство и сохраняется для дальнейшего ее использования при подготовке нового столба. Подготовка следующего выемочного столба производится под защитой возведенных бутовых полос без оставления межстолбового целика; при этом панельный конвейерный штрек отработанной панели используется в качестве разгружающего штрека новой панели. Такая подготовка шахтного поля позволяет производить более полное извлечение полезного ископаемого, увеличивая коэффициент извлечения на 10-15 % [2].

Метатели применяются с параметрами, позволяющими возводить бутовые полосы (рис.2) такой ширины, чтобы они перекрывали друг друга и между ними не оставалось свободного пространства. Таким образом, лава с одной стороны будет ограничена постоянно перемещающимся в процессе горных работ массивом соли, а с другой – бутовой полосой, физико-механические характеристики которой заранее известны.

Для приближенного исследования проявлений горного давления в рамках рассматриваемой геомеханической задачи вполне

очевидна необходимость разработки прикладных методов, обладающих большой универсальностью и информативностью [1].

Существенной трудностью применения различных методик (аналитических и численных) для определения НДС массива горных пород в указанном случае являются весьма приближенные геометрические параметры закладки и ее физико-механические характеристики. Однако с привлечением явления зональной дезинтеграции горных пород эти трудности могут быть преодолимы. Сущность явления, впервые высказанного академиком Е.И.Шемякиным, состоит в том, что с течением времени закладка становится такой же жесткой, как и основной массив горных пород, а значит, для решения задачи определения НДС кровли в указанных условиях может быть привлечена схема «целик-пролет-целик». Следовательно, задача достаточно просто, в рамках определенных (заранее известных) допущений и предположений, решается на основе широко применяемого в строительной механике вариационного метода В.З.Власова [1].

Исходя из постановки рассматриваемой геомеханической задачи и с учетом разработанного численно-аналитического алгоритма [Там же], общее решение системы для левой части кровли $(-\infty \le x \le 0)$ с учетом ограниченности вертикального V и углового U смещений (рис.3) имеет вид

$$V = A_1 \exp(\alpha x) + A_2 \exp(\beta x) + \frac{\gamma h}{k};$$

$$U = A_1 \exp(\alpha x)\left(\frac{k}{Gh\alpha} - \alpha\right) + A_2 \exp(\beta x)\left(\frac{k}{Gh\beta} - \beta\right), \qquad (1)$$

где

$$\alpha = \sqrt{\frac{n+m}{2}} + \sqrt{\frac{n-m}{2}};$$

$$\beta = \sqrt{\frac{n+m}{2}} - \sqrt{\frac{n-m}{2}}; \quad n = \frac{k}{2Gh}; \quad m = \sqrt{\frac{k}{D}}.$$

Для свободно зависающей над выработкой части кровли $(0 \le x \le l)$ с учетом коэффициента жесткости $k = 0$ (рис.3) получим

$$V = \frac{\gamma h}{24D}x^4 - \frac{A_6}{6D}x^3 - \frac{1}{2}\left(\frac{\gamma h}{Gh} + \frac{A_5}{D}\right)x^2 + \left(\frac{A_6}{G \cdot h} - A_4\right)x + A_3;$$

$$U = \frac{\gamma h}{6D}x^3 + \frac{A_6}{2D}x^2 + \frac{A_5}{D}x + A_4. \qquad (2)$$

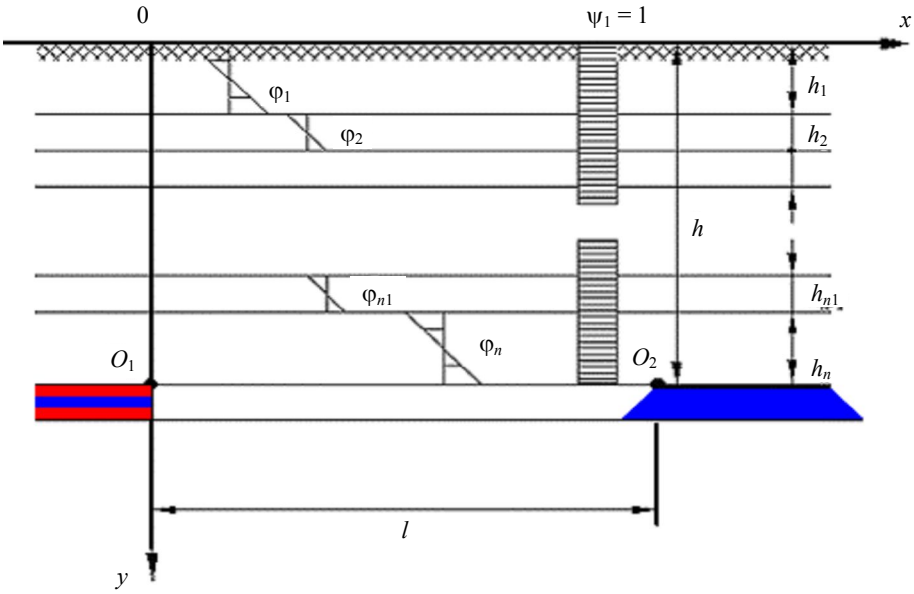


Рис.3. Расчетная схема для определения НДС кровли

В формулах (1) и (2) присутствующие постоянные интегрирования $A_1, \ldots, A_6$ достаточно просто определяются из заданных естественных граничных условий. Отметим, что величина $P = kV$, где вертикальное смещение V определяется по формуле (1), определяет закон изменения опорного давления в предположении, что зона разрушения пласта перед забоем отсутствует.

Таким образом, на основе полученных результатов можно сделать вывод, что в породных массивах, особенно при разработке месторождений в условиях больших глубин, геомеханические процессы в окрестности подземных выработок определяются и таким фактором, как явление зональной дезинтеграции.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Господариков А.П.* Методы расчета напряженного состояния кровли в начальный период работы лавы при разработке пологих пластов / А.П.Господариков, Ю.Г.Сиренко, М.А.Зацепин // Сб. трудов «Нелинейные проблемы механики и физики деформируемого твердого тела» / Под ред. К.Ф.Черныха. СПб, 2005. Вып.9.

2. Патент 2003135720/(038333) РФ. МПК7Е21С41/18. Способ управления труднообрушаемой кровлей / Ю.Г.Сиренко, О.В.Ковалев, М.А.Зацепин и др. 2004. Бюл. № 36.

3. *Шемякин Е.И.* Эффект зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок / Е.И.Шемякин, Г.Л.Фисенко, М.В.Кругленя // Доклад АН СССР. 1986. Т.289. №5.