

В.Г. Клочков, И.И. Пугач, О.А. Муха

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА И ОБЪЕМА СКОПЛЕНИЯ МЕТАНА В ВЫРАБОТАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Рассмотрена методика определения местоположения пустот расслоения в обрабатываемой толще с различными физико-механическими свойствами горных пород. Для заданных горно-геологических условий определены геометрические параметры сдвижения пород и распределения напряжений в горном массиве, а также рассчитаны параметры образующихся пустот расслоения.

ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ Й ОБ'ЄМУ СКУПЧЕНЬ МЕТАНУ У ВИРОБЛЕНОМУ ПРОСТОРІ

Розглянуто методику визначення місця розташування порожнеч розшарування у товщі, що підробляється, з різними фізико-механічними властивостями гірських порід. Для заданих гірничо-геологічних умов визначено геометричні параметри зрушення порід і розподілу напружень у гірському масиві, а також розраховано параметри порожнеч розшарування, що утворюються.

DETERMINATION OF THE LOCATION AND VOLUME OF THE ACCUMULATION OF METHANE IN THE MINED-OUT SPACE

The method of determining the location of layer separation voids with different physical and mechanical properties of rocks is reviewed. The geometrical parameters of displacement and stress of rocks in the solid for a given geological conditions are defined. The parameters of separation voids are calculated.

ВВЕДЕНИЕ

При разработке угольных пластов с большим газовыделением одним из средств преодоления газового барьера является дегазация разрабатываемого пласта и спутников. На газовый баланс выемочного участка большое влияние оказывает выработанное пространство, где скапливается метан из спутников и применяются различные методы борьбы с такими явлениями: изолированный отвод метана по трубопроводу или неподдерживаемой вентиляционной выработке, дегазация выработанного пространства скважинами, пробуренными из горных

выработок или земной поверхности, и другие способы [1, 2].

Для того, чтобы применять какой-то из способов удаления метана из выработанного пространства, необходимо знать места его скопления. Это позволит произвести эффективное удаление метана с минимальными затратами на проведение работ, избежать местных и слоевых скоплений метана в горных выработках выемочного участка, предупредить загазирование выработок, повысить нагрузку на очистной забой по газовому фактору. Исходя из вышеизложенного, установление мест скопления метана в выработанном пространстве является актуальной задачей для газовых шахт.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определение места и объема скопления метана осуществляется методом напряженно-деформированного состояния (НДС) пород надугольной толщи [3].

По мере образования выработанного пространства боковые породы приходят в движение. Над выработанным пространством от вышележащих пород отделяется слой непосредственной кровли и прогибается по нормали к напластованию, затем в движение приходят вышележащие слои пород, последовательно отслаиваясь и прогибаясь вслед за нижними слоями.

При прогибе между слоями с разными физико-механическими свойствами могут образовываться небольшие промежутки, так называемые пустоты расслоения.

Слои породы при движении подвергаются деформациям изгиба, и с увеличением сдвижений нарушается их сплошность. При этом газонасыщенные слои пород разрушаются, давление газа на поверхности блоков становится равным давлению газа в образовавшихся трещинах. Вследствие этого проницаемость слоя возрастает в сотни раз по сравнению с проницаемостью нетронутого массива. Выделяющийся из слоев газ из угля по проницаемой среде движется к дегазационным скважинам, которые пробурены до так называемых пустот расслоения. Эффективность скважин, дебит метана из них сравнительно больше, чем от скважин, пробуренных в метаносные породы, не несущие в себе этих физических явлений и положений.

Положив за основу известные методические рекомендации по расчету НДС пород надугольной толщи при разработке пологих пластов, можно осуществить прогнозирование смещения в сближенных пластах при подработке, установить параметры и расположение пустот расслоения; их физическую величину, где существует наибольшая вероятность скопления газа.

Для расчета НДС пород надугольной толщи разработан метод, который основан

на следующих основных положениях:

- развитие сдвижения подработанной толщи происходит в виде последовательного изгиба плит, защемленных по контуру;

- основным видом нарушения сплошности горного массива является расслоение пород по контактам наслоения;

- в случае образования вертикальных трещин характер изгиба слоев сохраняется;

- модуль деформации изменяется по длине слоя при переходе последнего из объемного состояния в плоское.

Исходя из этих положений, каждый слой породы надугольной толщи представлен в виде полосы, лежащей на податливом основании с жестким защемлением и пригруженной со стороны вышележащих пород неравномерной нагрузкой. Параметры эпюр нагрузок рассчитываются на основе уравнения упругой линии балки, лежащей на податливом основании, а также на основе физических представлений деформирующихся слоев.

Расчет НДС пород надугольной толщи выполняется в два этапа. Первый этап сводится к определению длин предельных полупролетов l , при котором имеет место максимально заданная величина свободного опускания слоев, зависящая от способа управления кровлей и мощности пласта. Одновременно с этим устанавливаются все геометрические параметры сдвижения, определяющие характер и величины нагрузок и реакции на каждый слой. К числу этих параметров относятся: a – расстояние от начала координат до максимальных напряжений, м; b – расстояние от максимальных напряжений до границы области опорного давления; $f = a + b$ – ширина области опорного давления, м; l – длина предельного свободного полупролета слоя, при котором его максимальные опускания достигают заданной величины, м; d_0 – расстояние до максимального значения реакции слоя, м; L_{np} – длина полного предельного полупролета слоя.

$$L_{np} = a + d_0 + l, \text{ м.}$$

Для расчета указанных параметров структурная колонка от почвы основной кровли пласта до поверхности разделяется на слои по литологическому составу. Пачки породы мощностью не менее 3 – 5 м рассматриваются в виде равномерно распределённой нагрузки на нижерасположенные более мощные слои. Для каждого слоя породы необходимо иметь модуль деформации (K_0) и коэффициент Пуассона (μ)

$$K_0 = E \cdot (1 - 2\mu), \text{ т·с/м}^2.$$

В рассматриваемой работе приняты следующие исходные данные. Шахта относится к сверхкатегорийной по метану. Абсолютная газообильность составляет 18,7 м³/мин. Метан поступает из пласта i_3

и спутников, расположенных на расстоянии от 10 – 12 м и выше пласта i_3 . Кровля пласта представлена песчаными или глинистыми сланцами средней устойчивости. В почве залегают песчано-глинистые сланцы средней устойчивости. Мощность пласта – 1,19 м. Угол падения пласта – 0 – 5°. Способ управления кровлей – полное обрушение. Длина очистного забоя – 180 м.

Для определения геометрических параметров сдвижения надугольной толщи при заданной скорости подвигания очистного забоя и времени в рассматриваемом сечении исходные данные представляются в виде массивов. Геометрические параметры сдвижения надугольной толщи при заданной скорости подвигания очистного забоя сведены в табл. 1.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СДВИЖЕНИЯ НАДУГОЛЬНОЙ ТОЛЩИ

Таблица 1

№ слоя	Основные параметры							
	$H_i, \text{ м}$	$H_{i-1}, \text{ м}$	$a, \text{ м}$	$d_0, \text{ м}$	$b_1, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$f, \text{ м}$	$l_{np}, \text{ м}$
1	682,0	672,0	16,6	11,7	22,6	16,2	39,3	34,0
2	671,9	666,0	16,6	11,8	23,3	22,6	40,0	35,0
3	666,0	661,0	16,6	11,9	23,9	23,3	40,5	35,8
4	660,9	462,9	16,6	12,1	35,6	23,7	52,3	35,2
5	642,9	634,9	16,6	13,2	36,4	35,6	53,0	54,3
6	634,9	629,0	16,6	13,2	36,5	36,4	53,1	53,3
7	629,0	619,9	16,6	13,9	47,0	36,7	64,3	53,3
8	619,0	594,9	16,6	14,3	47,6	37,0	64,6	71,5
9	595,0	572,0	16,6	14,3	56,8	37,4	73,5	85,6
10	572,0	562,0	16,6	14,3	56,9	56,8	73,6	58,2
11	562,0	556,0	16,6	14,3	57,1	56,9	73,7	56,7

Для данного случая выделено в надугольной толще два наиболее жестких слоя (4 и 9). Расчет НДС пород осуществляется в направлении сверху вниз.

Пригрузка на 9 слой (см. рис. 1) в зоне выработанного пространства со стороны вышележащих слоев соответствует весу пород в объеме разности между длинами предельных свободных полупролетов (l_n , м) и расположенных выше слоев (l_{np} , м)

$$\begin{cases} Q_1 = (l_n - l_{np}) \cdot \gamma \cdot (H_9 - H_{16}) \\ Q_2 = (l_n - l_{np}) \cdot \gamma \cdot (H_{16} - H_{30}) \end{cases};$$

$$Q_1 + Q_2 = \frac{d_1 \cdot T_1}{2};$$

$$T_1 = \frac{2(Q_1 + Q_2)}{d_1} > \gamma \cdot H,$$

где H_i – глубина залегания i -го слоя, м;

T_1 – максимальное значение пригрузки по оси выработки, тс/м²;

γ – удельный вес пород, т/м³.

Тогда с учетом величин, приведенных в табл. 1 и принятых исходных данных

$$Q_1 = (90 - 85,6) \cdot 2,4 \cdot (595 - 492) = 1088 \text{ т};$$

$$Q_2 = (90 - 87,5) \cdot 2,4 \cdot (492 - 350) = 852 \text{ т},$$

где

$$T_1 = \frac{2 \cdot 1940}{44,5} = 88 \text{ т} \cdot \text{с} / \text{м}^2;$$

$$Q_{np} = [(l_n - l_{16}) \cdot (492 - 350) + (l_n - l_{14}) \times \\ \times 38 + (l_n - l_{13}) \cdot 8 + (l_n - l_{12}) \cdot 6 + \\ + (l_n - l_{10}) \cdot 6 + (l_n - l_{10}) \cdot 11] \cdot 2,4 = 3500 \text{ т};$$

$$Q_p = [(l_n - l_{16}) \cdot (492 - 350) + (l_p - l_{10}) \times \\ \times (595 - 492)] \cdot 2,4 = 1940 \text{ т};$$

$$T_2 = \frac{2 \cdot 3500}{44,5} = 158 \text{ т} \cdot \text{с} / \text{м}^2,$$

Тогда

$$\sigma_1 = \frac{2 \cdot 121 \cdot 4 \cdot 272 - 2,4 \cdot 572 - 158 \cdot 45,5}{16,6 + 56,8} = 4420 \text{ тс} / \text{м}^2;$$

$$\sigma_2 = \frac{2 \cdot 121 \cdot 4 \cdot 598 - 2,4 \cdot 572 - 88 \cdot 45,5}{16,6 + 37,4} = 5901 \text{ тс} / \text{м}^2.$$

Откуда

$$R_1 = \sigma_1 - \gamma H = 4120 - 572 \cdot 2,4 = 2745 \text{ тс} / \text{м}^2;$$

$$R_2 = \sigma_2 - \gamma H = 5901 - 598 \cdot 2,4 = 4461 \text{ тс} / \text{м}^2.$$

Длина предельного полупролета 4 слоя больше длины нижележащих слоев, поэтому на контакте 4 слоя будет иметь место расслоение и в зоне выработанного пространства пригрузка на нижележащие породы отсутствует.

где T_2 – максимальное значение реакции по оси выработки, тс/м².

При этом

$$d_1 = L_B - f = 121 - 73,5 = 44,5 \text{ м};$$

$$L_B = 90 + 14,3 + 16,6 = 121 \text{ м};$$

$$f = a + b_1 = 16,6 + 56,8 = 73,5 \text{ м}.$$

Сумма γH представляет собственный вес пород, расположенных над 9 жестким слоем.

Распределение этого веса пород над выработанным пространством зависит от объема пород Q и расстояния b_1 . В этом случае максимальные и минимальные напряжения на уровне кровли рассматриваемого слоя определяются из выражений

$$\sigma_1 = \frac{2L_B \gamma H - \gamma H - T_1 d_1}{a + b_1};$$

$$\sigma_2 = \frac{2L_B \gamma H - \gamma H - T_2 d_2}{a + b}.$$

Для определения величин опускания слоев, горизонтальных перемещений и деформаций необходимо вычислить три коэффициента ряда Фурье применительно к полученной эпюре нагрузок слоя. Для вычисления указанных коэффициентов используются следующие выражения

$$B_1 = \frac{2L}{K^2 \pi^2} \left\{ (R_1 - R_2) \sin \frac{K\pi}{L} a + T_1 \sin \frac{K\pi}{L} f_1 - T_2 \sin \frac{K\pi}{L} f_2 + \frac{L}{K\pi} \left[\left(\frac{R_1}{a} - \frac{\sigma_1}{b_1} \right) \times \right. \right. \\ \times \cos \frac{K\pi}{L} a + \left(\frac{\sigma_2}{b_2} - \frac{R_2}{a} \right) \cos \frac{K\pi}{L} a - \left(\frac{\sigma_2}{b_2} - \frac{T_2}{d_2} \right) \cos \frac{K\pi}{L} f_2 + \left(\frac{\sigma_1}{b_1} - \frac{T_1}{d_1} \right) \times \\ \left. \left. \times \cos \frac{K\pi}{L} f_1 - \frac{T_1}{d_1} + \frac{T_2}{d_2} + \frac{R_2 - R_1}{a} \right] \right\}.$$

При определении B_2 в выражение вместо K подставляется 2.

В этих выражениях: R_1 и R_2 – соответственно дополнительные напряжения пригрузок и реакции в области опорного давления; σ_1 и σ_2 – соответственно максимальные напряжения пригрузки и реакции в области эпюрного давления, тс/м²; L – полный полупролет выработки или расчетный

полупролет, м; K – для первого коэффициента равен 1, для второго – 2, для третьего – 3; T_1 – максимальное значение пригрузки по оси выработки, тс/м²; T_2 – максимальное значение реакции по оси выработки, тс/м²; d_1 и d_2 – расстояние от оси выработки до точки перегиба оси слоя, м; f_1 – ширина опорной зоны, м.

Тогда

$$B_1 = \frac{2 \cdot 121}{1 \cdot 3,14^2} \left\{ (2745 - 4461) \cdot 8 \sin \frac{1 \cdot 3,14}{121} \cdot 16,7 + 158 \sin \frac{1 \cdot 3,14}{121} \cdot 73,5 - 88 \sin \frac{1 \cdot 3,14}{121} \times \right. \\ \times 54,1 + \frac{121}{3,14 \cdot 1} \cdot \left[\left(\frac{2745}{16,7} - \frac{4120}{56,8} \right) \cdot \cos \frac{1 \cdot 3,14}{121} \cdot 16,7 + \left(\frac{5901}{37,4} - \frac{4461}{16,7} \right) \cdot \cos \frac{1 \cdot 3,14}{121} \cdot 16,7 - \right. \\ \left. - \left(\frac{5901}{37,1} - \frac{88}{44,5} \right) \cdot \sin \frac{1 \cdot 3,14}{121} \cdot 54,1 + \left(\frac{4120}{56,8} - \frac{158}{44,5} \right) \cdot \cos \frac{1 \cdot 3,14}{121} \cdot 73,5 - \frac{88}{44,0} + \frac{158}{44,0} + \right. \\ \left. \left. + \frac{4400 - 2745}{16,7} \right] \right\} = 20000 \text{ т},$$

а по аналогии при $K = 2$ находим $B_2 = 13640$ т.

Для определения опускания слоя используем выражение

$$y = \frac{L_8^3 \cdot 12}{K^3 \cdot \pi^3 \cdot K_0 \cdot h^3} \cdot \left[B_1 \cdot \left(\cos \frac{\pi}{L} x - 1 \right) + \right. \\ \left. + \frac{B_2}{8} \cdot \left(\cos \frac{2\pi}{L} x - 1 \right) \right],$$

где K_0 зависит от значения x :

при $x = 10$ $K_0 = 4 \cdot 10^6$;

при $10 < x \leq 54$

$$K_0 = -x \cdot 0,054 \cdot 10^6 + 5 \cdot 10^6;$$

при $x > 54$ $K_0 = 2 \cdot 10^6$.

Тогда при $x = 10$

$$y = \frac{121^3 \cdot 12}{3,14^3 \cdot 23^3} \cdot \left[20000 \cdot \left(\cos \frac{3,14}{121} 10 - 1 \right) + \right.$$

$$+ \frac{13640}{8} \cdot \left(\cos \frac{2 \cdot 3,14}{121} 10 - 1 \right) = -0,01.$$

По аналогии:

$$x = 20 \quad y = -0,040;$$

$$x = 30 \quad y = -0,098;$$

$$x = 40 \quad y = -0,197;$$

$$x = 50 \quad y = -0,35;$$

$$x = 60 \quad y = -0,52;$$

$$x = 70 \quad y = -0,64;$$

$$x = 120 \quad y = -0,90.$$

Горизонтальное перемещение и горизонтальные деформации определяются по выражению

$$\varepsilon = \frac{h^2 \cdot 12}{\pi^2 \cdot 23,3^3} \cdot \left[B_1 \cdot \sin \frac{\pi}{L} x + \frac{B_2}{8} \cdot \sin \frac{2\pi}{L} x \right].$$

Производим вычисления:

$$x = 10 \quad \varepsilon = 0,0025;$$

$$x = 30 \quad \varepsilon = 0,0075;$$

$$x = 50 \quad \varepsilon = 0,0127;$$

$$x = 70 \quad \varepsilon = 0,0130;$$

$$x = 120 \quad \varepsilon = -0,0030.$$

Аналогично определяем пригрузки, напряжения, опускание слоя, горизонтальные перемещения и деформации для 4 слоя. Данные вычислений сводим в табл. 2.

$$\sigma_1 = 6450 \text{ тс/м}^2; \quad \sigma_1 = 8500 \text{ тс/м}^2;$$

$$R_1 = 4910 \text{ т}; \quad R_2 = 6911 \text{ т}; \quad T_1 = 94 \text{ тс/м}^2;$$

$$T_2 = 140 \text{ тс/м}^2.$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СЛОЕВ

Таблица 2

Переменная величина, x	Опускание, y	Горизонтальное перемещение, ε
10	0,0166	0,0055
30	0,226	0,023
50	0,65	0,0293
80	1,02	0,0182
120	1,12	0,00033

Данные в табл. 2 получены при следующих условиях для $B_1 = 4200 \text{ т}$, $B_2 = 8100 \text{ т}$:

$$\text{при } 0 < x < 16,7 \quad K_0 = 2,3 \cdot 10^6;$$

$$\text{при } 16,7 < x < 40,3$$

$$K_0 = -x \cdot 0,045 \cdot 10^6 + 2,86 \cdot 10^6;$$

$$\text{при } x > 40,3 \quad K_0 = 1,06 \cdot 10^6.$$

С целью проверки или более точного определения для каждого из жестких слоев, выделенных в надугольной толще, вычисляется максимальная величина опускания в средней части выработки. Если опускание более $0,8m$ (где m – вынимаемая мощность пласта, м), определяется со стороны нижележащих пород. Для этого вы-

числяется значение коэффициента B'_1 при заданной величине опускания m_ϕ

$$B'_1 = \frac{m_\phi}{m_p}.$$

Определяется соответственно реактивный момент M_p и реактивная сила x :

$$M_p = \frac{L}{\pi} \cdot (B_1 - B'_1); \quad x = \frac{M_p}{\Pi},$$

где Π – плечо, равное $0,5L$.

Геометрические параметры сдвижения и распределения напряжений в надугольной толще, расположение и параметры пустот, а также размещение дегазационных скважин, пробуренных из горных вырабо-

ток, для данных расчетов приведены на рис. 1 – 4.

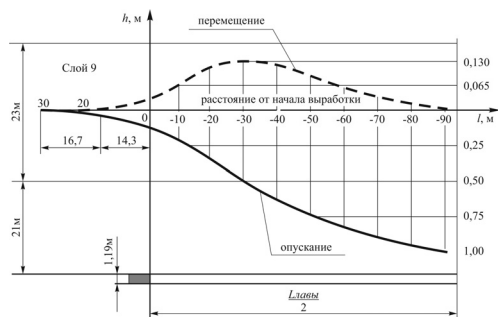


Рис. 1. Параметры сдвижения горных пород в слое 9

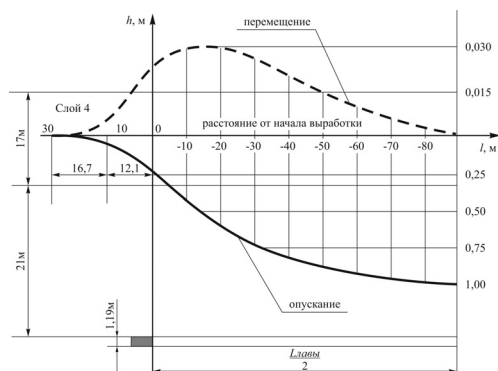


Рис. 2. Параметры сдвижения горных пород в слое 4

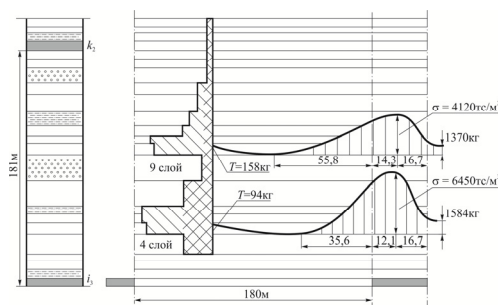


Рис. 3. Распределения напряжений в надугольной толще

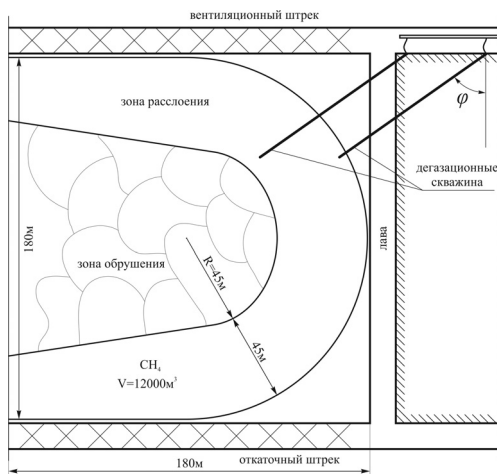


Рис. 4. Расположение пустот и дегазационных скважин

ВЫВОДЫ

При неоднородных породах надугольной толщи после ее подработки образуются полости расслоения, в которых скапливается метан. Размеры этих полостей, как было установлено выше, зависят от горно-геологических условий разработки (мощности пласта, состава пород, их прочностных свойств и др. факторов) и распространяются над выработанным пространством до границы опорной зоны. Для эффективного отвода метана забой дегазационных скважин следует размещать вблизи границы этих полостей.

Таким образом, при известной картине распределения нормальных нагрузок и установленных мест расположения характерных точек сдвижений в конкретных условиях можно выбрать рациональное расположение скважин для дегазации подрабатываемых пластов.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СОУ 10.1.00174088.001-2004. Дезаэрация угольных шахт. Требования к способам и схемы дезаэрации. – К.: Минтопэнерго Украины, 2004. – 162 с.

2. ГНАОТ 1.1.30-6.09.93. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – К.: Основа, 1994. – 311 с.

3. Савостьянов О.В. Керування станом масиву гірських порід: навч. посіб. / О.В. Савостьянов, В.Г. Клочков. – К.: НМК ВО, 1992. – 276 с. – Рос. мовою.

ОБ АВТОРАХ

Клочков Виктор Григорьевич – к.т.н., профессор кафедры аэрологии и охраны труда Национального горного университета.

Пугач Иван Иванович – к.т.н., доцент кафедры аэрологии и охраны труда Национального горного университета.

Муха Олег Анатольевич – к.т.н., доцент кафедры аэрологии и охраны труда Национального горного университета.