

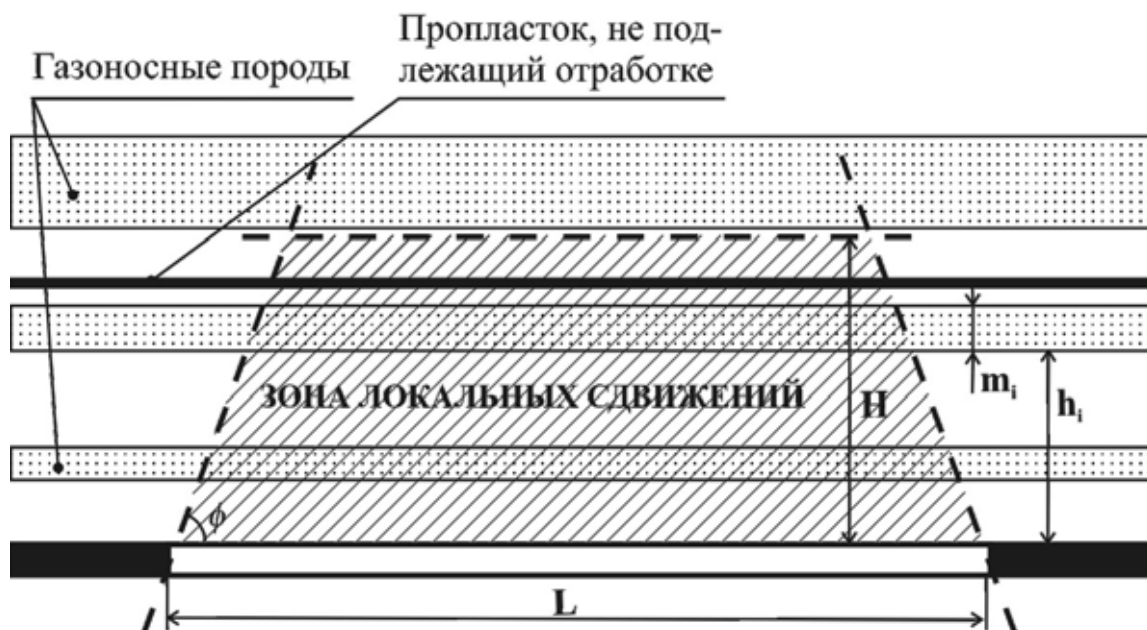
К РАСЧЕТУ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ РАБОТЕ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ЛАВ

Розроблена математична модель розрахунку виходу метану із метанонесних порід зони локальних зміщень, яка формується в області впливу очисної виробки з урахуванням геомеханічних процесів її створення. Приведено комп'ютерну реалізацію цього методу.

TO CALCULATION OF AN OUTPUT OF METHANE FROM ROOF SOILS AT OPERATION OF LONGWALLS

The mathematical model of calculation of an output of methane from the roof rocks containing methane is developed, in the field of influence of a coal face in view of geomechanical processes of formation of a zone of local displacement. Computer realization of this method is reduced.

При очистных работах происходит нарушение сплошности массива горных пород. В пределах области их влияния можно выделить зону локальных сдвижений, характеризующуюся сильным разрыхлением, разделением на глыбы и растрескиванием пород (рис. 1). Если в эту зону попадают слои метаносодержащих пород и пропластки угля малой мощности, то они являются основными источниками выхода метана в очистной забой и прилегающие выработки через выработанное и рабочее пространства.



m_i - мощность i -го газоносного пласта, м; h_i - высота расположения i -го газоносного пласта над разрабатываемым угольным пластом, м; H - высота зоны локальных сдвижений, м; L - длина лавы, м; ϕ - угол наклона плоскостей, образующих зону локальных сдвижений

Рис. 1 – Схема расположения зоны локальных сдвижений в массиве горных пород около очистной выработки.

Авторами работ [1, 2, 3] и другими учеными многократно проводился анализ геомеханических процессов распределения горного давления вокруг очист-

ной выработки, были выделены зоны ее влияния, а также разгрузки, опорного давления и локальных сдвижений.

В данной работе предлагается методика расчета выхода метана из источников, расположенных в подработанном угленосном массиве, учитывающая геомеханическую природу их образования.

Для расчетов принято, что зона сдвижений состоит из чередующихся пропластков угля, не подлежащих отработке, и горных пород с различными геомеханическими характеристиками (см. рис. 1). Метаноносность i -го слоя с достаточной для практических расчетов точностью можно определить следующим образом:

$$Q_i = g_i V_i \gamma_i, \quad (1)$$

где g_i - удельная метаноносность i -го пласта, м³/т; V_i - объем i -го пласта, м³; γ_i - плотность i -го пласта, т/м³.

Тогда ориентировочно определить объем метана, содержащегося во всей зоне локальных сдвижений, можно по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^N Q_i = \sum_{i=1}^N g_i V_i \gamma_i, \quad (2)$$

где N – число газоносных пластов породы и угля, попадающих в зону разрушения и расслоения кровли.

Пусть изменение метановыделения из i -го пласта во времени описывается функцией:

$$q_i(t) = q_i^0 e^{-\omega_i t}, \quad (3)$$

где q_i^0 - количество метана, высвобождающегося в момент обрушения кровли, м³/мин; ω_i - коэффициент, характеризующий кривизну функции $q_i(t)$; t - время, прошедшее с момента обрушения основной кровли.

Проинтегрируем выражение (3) по времени на интервале $t \in [0, \infty]$:

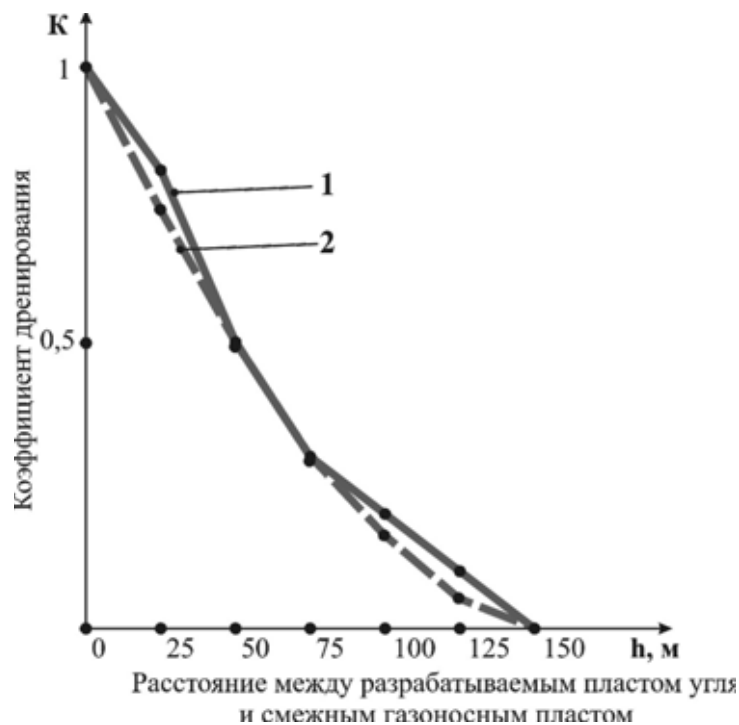
$$Q_i = q_i^0 \int_0^{\infty} e^{-\omega_i t} dt = \frac{q_i^0}{\omega_i}. \quad (4)$$

Приравнявая правые части выражений (1) и (4), получим уравнение для определения q_i^0 , коэффициента начального метановыделения:

$$q_i^0 = g_i V_i \gamma_i \omega_i. \quad (5)$$

Каждый из N газоносных пластов, принадлежащих рассматриваемой зоне

кровли, будет вносить свою долю в содержание метана в атмосфере очистного забоя. Исследованиями в области газовыделения из смежных пластов угля занимались Г.Д. Лидин, И.М. Печук, А.Э. Петросян и другие ученые [4, 5]. А.Э. Петросян на основе опытных данных составил таблицу коэффициентов дренирования газа из смежных пластов угля в зависимости от расстояния h_i между разрабатываемым угольным пластом и пластом-спутником (рис. 2), из которой видно, что на расстоянии $h = H$ этот коэффициент (обозначим его K_i) равен нулю, на расстоянии $h = 0$ – равен единице, и что изменяется он нелинейно.



1 – экспериментальные данные; 2 – аппроксимирующая функция

Рис. 2 – Зависимость коэффициента дренирования от от расстояния h_i между разрабатываемым угольным пластом и пластом-спутником.

Как показывают результаты регрессионного и корреляционного анализа, функция:

$$K_i = \left(1 - \frac{h_i}{H}\right)^{1,7}$$

хорошо аппроксимирует фактические данные (коэффициент корреляции 0,996).

Тогда вклад метана от каждого i -го метаноносного пласта в состав атмосферы очистного забоя можно представить в таком виде:

$$q_i^{O_3}(t) = q_i^0 \left(1 - \frac{h_i}{H}\right)^2 e^{-\omega_i t}. \quad (6)$$

Объем i -го пласта V_i можно определить по следующей формуле (с использованием схемы на рис. 1):

$$V_i = m_i L_{обр} [L - ctg\phi(m_i + 2h_i)], \quad (7)$$

где $L_{обр}$ - шаг обрушения основной кровли, м.

С учетом выражений (2), (5), (6) и (7), уравнение для определения метано-выделения из углеродного массива, попадающего в зону полных сдвижений, будет иметь вид:

$$Q(t, h_i) = \sum_{i=1}^N q_i(t, h_i) = \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{h_i}{H}\right)^2 g_i m_i L_{обр} [L - ctg\phi(m_i + 2h_i)] \gamma_i \omega_i e^{-\omega_i t}. \quad (8)$$

Как следует из данных, приведенных в работе [3], ее авторами проведен анализ экспериментальных данных, полученных с помощью глубинных реперов, устанавливаемых в скважинах длиной 35-40 м, и дана классификация этих зон по степени разрушения (рис. 3.):

- зона интенсивного разрушения высотой h_1 , м;
- зона блочного разрушения высотой h_2 , м;
- зона крупноблочного разрушения высотой h_3 , м.

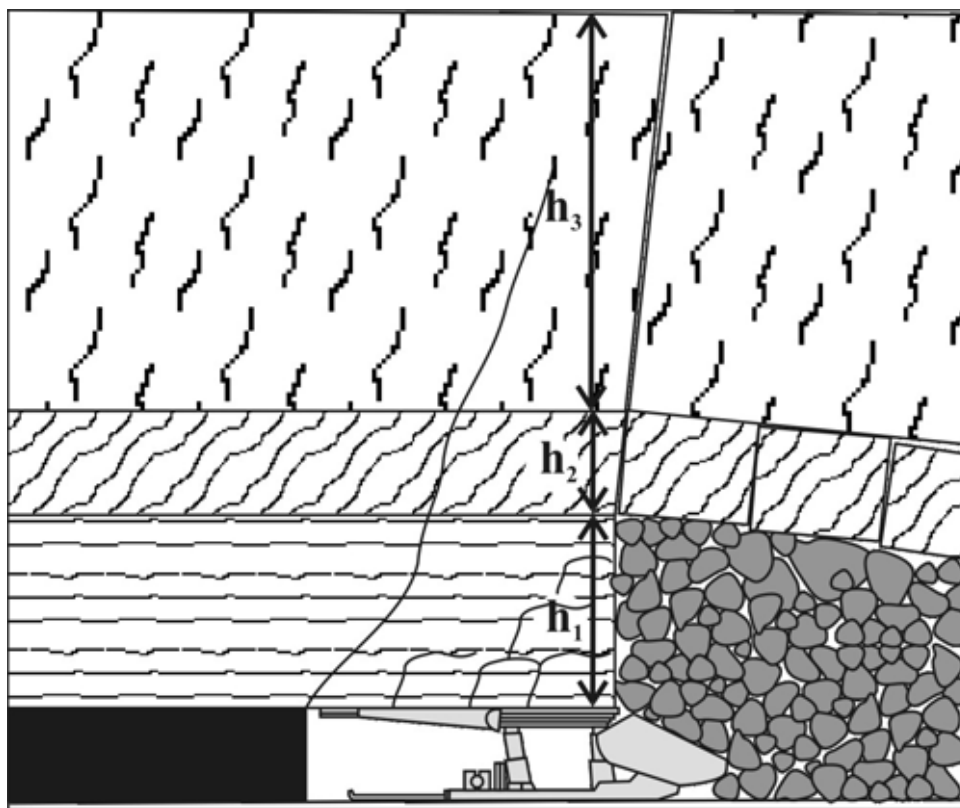


Рис. 3 – Схема характерных зон разрушения пород кровли

Аппроксимируя экспериментальные данные, представленные в работе [3] и используя формулу для определения высоты зоны крупноблочного разрушения, выведенную авторами этой работы, а также соотношение $H = h_1 + h_2 + h_3$, получим систему уравнений для расчета H, h_1, h_2, h_3 :

$$\left\{ \begin{array}{l} h_1 = 0,15H + 1,17 \\ h_2 = 0,5h_1 \\ h_3 = m \left[25 \sqrt{\frac{\gamma H_{нов}}{\sigma_{сж}}} - 270 \frac{\gamma H_{нов}}{\sigma_{сж}} \exp\left(-34 \frac{\gamma H_{нов}}{\sigma_{сж}}\right) \right] \end{array} \right.,$$

где m – мощность разрабатываемого угольного пласта, м; γ – усредненная плотность пород кровли, т/м³; $H_{нов}$ – глубина ведения очистных работ, м; $\sigma_{сж}$ – предел прочности пород кровли на одноосное сжатие, МПа.

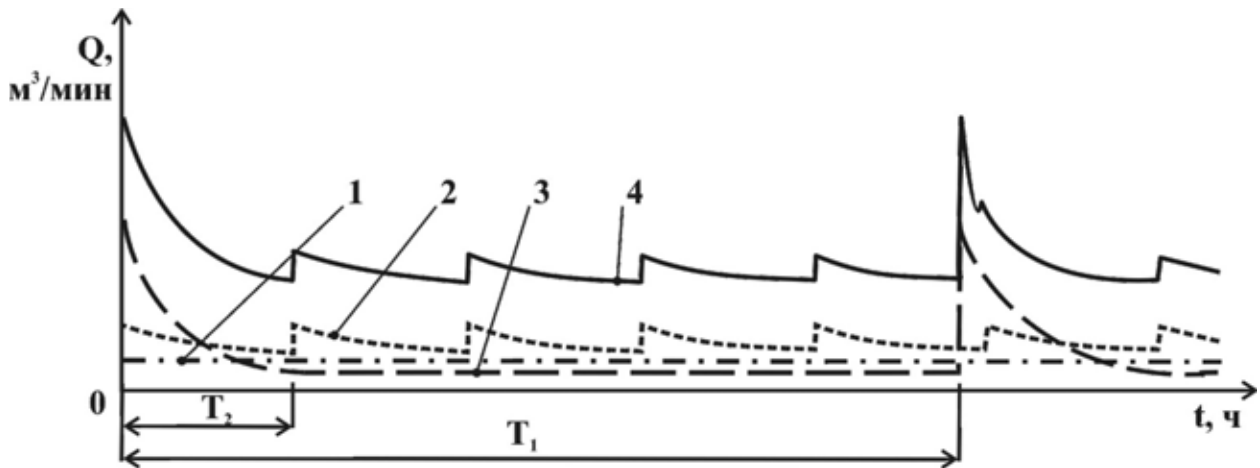
Если шаг обрушения непосредственной кровли из зоны интенсивного разрушения приблизительно равен ширине захвата комбайна, шаг обрушения породы из зоны блочного разрушения колеблется в пределах нескольких метров, то для расчетов можно принять его равным высоте этой зоны. Шаг обрушения основной кровли обозначен $L_{обр}$.

Если газоносный слой попадает в зону интенсивного разрушения, где размеры блоков породы находятся в интервале от нескольких сантиметров до 2 м, и площадь их поверхности достигает 3000 м² на 1 м³ породы, как показано в работе [6], то интенсивность газовыделения из него уменьшается гораздо быстрее, чем интенсивность выхода метана из слоя, попавшего в зону крупноблочного разрушения, где площадь поверхности выхода метана не достигает и 1 м² на 1 м³ породы. Иными словами, ω из формулы (8) – коэффициент, характеризующий кривизну функции газовыделения – будет в $\ln(3000)=8$ раз больше для газоносных пластов из зоны h_1 , чем для пластов из зоны h_3 .

Таким образом, если предположить, что газоносные породы попадают в каждую из зон разрушения, характер газовыделения из подработанного углепородного массива можно представить в виде графика, представленного на рис. 4.

Используя выражение (8), возможно рассчитать количество метана, поступающего в очистной забой из метаносодержащих слоев зоны полных сдвижений, в любой момент времени после обрушения основной кровли.

Возьмем, к примеру, данные о пласте m_3 15-ой западной лавы шахты им. А.Ф.Засядько. Схематически стратиграфическая колонка пород кровли, попадающих в зону сдвижений, представлена на рис. 5.



1 – выход метана из зоны интенсивного разрушения; 2 – из зоны блочного разрушения; 3 – крупноблочного разрушения; 4 – всего из выработанного пространства;
 T_1 - период обрушения основной кровли; T_2 – вторичный период обрушения непосредственной кровли

Рис. 4 – Характер функций газовыделения из подработанного углепородного массива.

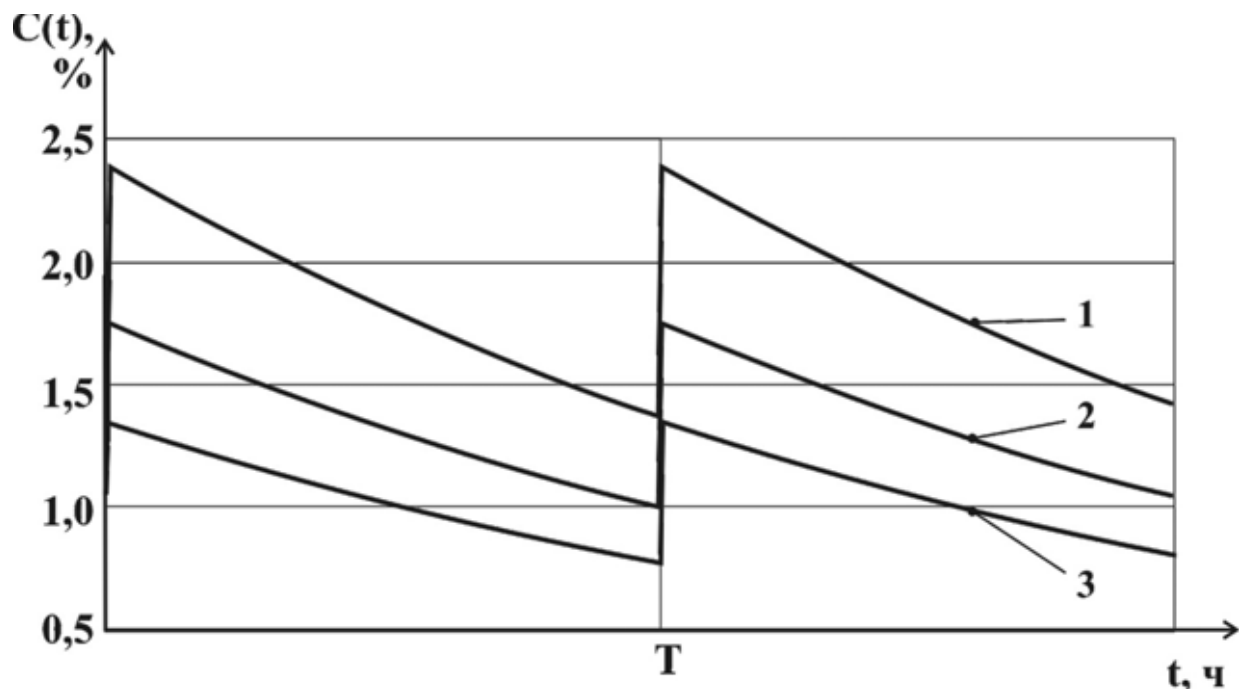
Порода	Газоносность, м _г /т	Мощность, м	Высота относительно разрабатываемого пласта, м
Алевролит	0	3	26,35
m_4	20	0,35	26
Алевролит	0	2	24
Песчаник	7	7	17
Аргиллит	0	17	0
m_3	20	1,7	

Рис. 5 – Схема расположения газоносных пород над пластом m_3 15-ой западной лавы шахты им. А.Ф.Засядько

Из рис. 5 видно, что источниками метановыделения в выработанное пространство будут служить слой песчаника и нерабочий пропласток угля мощностью 0,35 м.

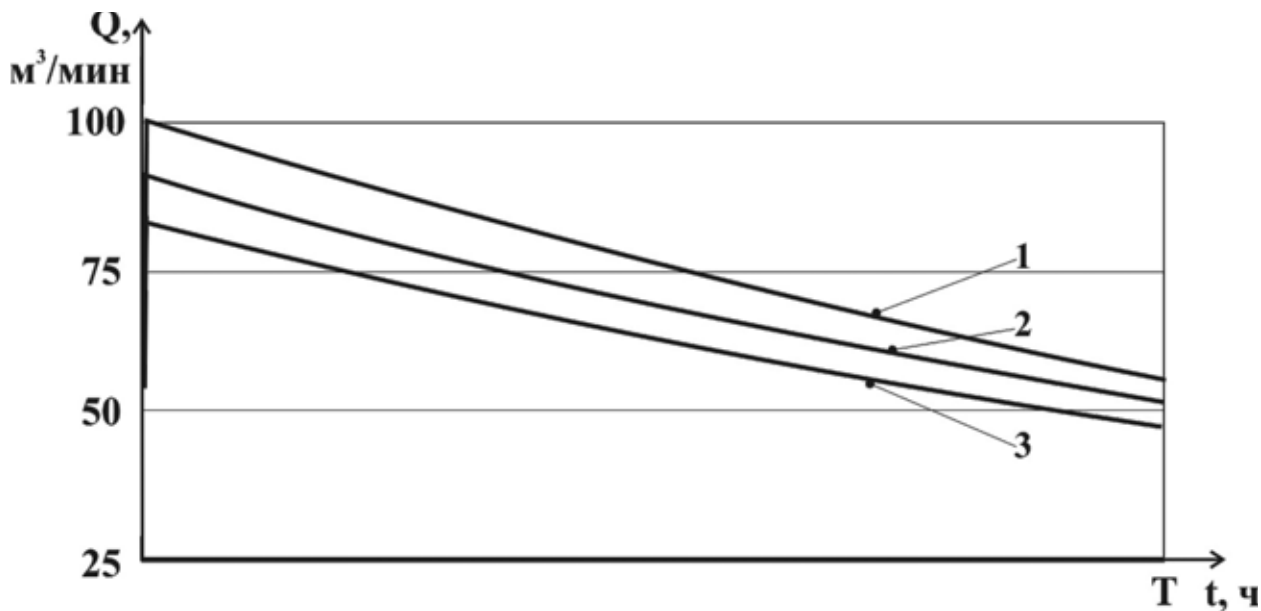
Используя данные на рис. 5, а также приняв $L = 230$ м, $L_{обр} = 40$ м, $\phi = 60^\circ$, среднюю фактическую добычу $A\phi = 3000$ т/сут, скорость проветривания 960 м³/мин [7] в качестве начальных условий, по предложенному выше алгоритму получим расчетный дебит метана из углепородного массива на очистном участ-

ке и процентное содержание метана в исходящей струе воздушного потока из как функции времени. Их графики представлены на рис. 6 и 7.



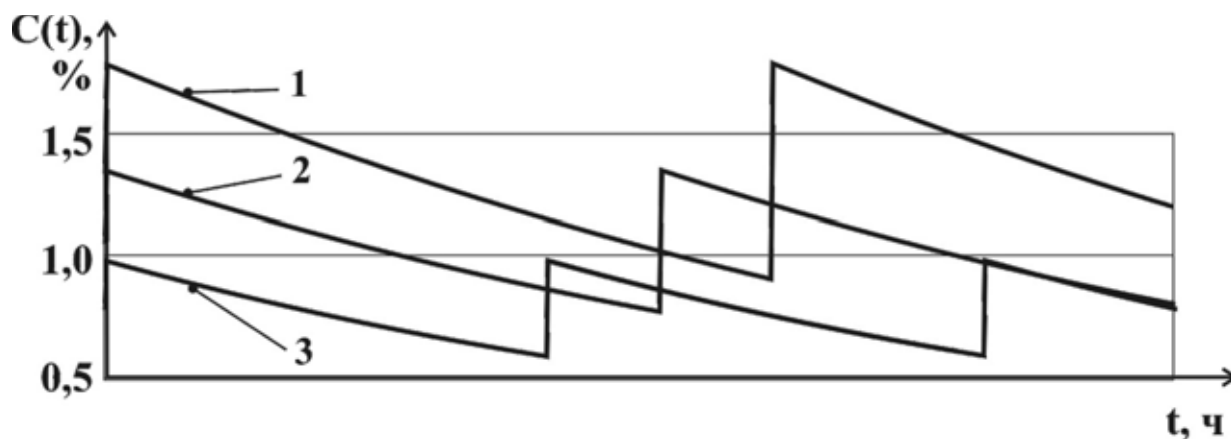
1, 2 и 3 – при скоростях проветривания, равных, соответственно, 4, 5 и 6 м/с; T – период обрушения основной кровли

Рис. 6 – График изменения процентного содержания $C(t)$ метана, поступающего из выработанного пространства, в исходящей струе в зависимости от времени, прошедшего с момента обрушения основной кровли.



1, 2 и 3 – при скоростях проветривания, равных, соответственно, 4, 5 и 6 м/с; T – период обрушения основной кровли

Рис. 7 – График дебита метана $Q(t)$, поступающего из углеродного массива в выработанное пространство лавы, в зависимости от времени, прошедшего с момента обрушения основной кровли:



1, 2 и 3 – при длине лавы, равной, соответственно, 200, 250 и 300 м

Рис. 8 – График изменения процентного содержания $C(t)$ метана, поступающего из углепородного массива в выработанное пространство лавы, в зависимости от длины лавы.

Полученные по результатам расчетов данные позволяют сформулировать следующие выводы:

1) Что касается выхода метана в очистной забой, то суммарная кривая метановыделения из газоносных пород кровли представляет собой приблизительно постоянную фоновую величину плюс накладывающиеся друг на друга пики кривых выхода метана из зон блочного и крупноблочного разрушения. Зная периоды обрушения основной и непосредственной кровли, можно предсказать время появления этих пиков.

2) Уменьшение скорости воздушного потока на 1 м/с, влечет за собой увеличение содержания метана в атмосфере забоя примерно на 0,5 %. Поэтому при недостаточной эффективности системы проветривания необходимо принимать дополнительные меры по дегазации газосодержащих пород углепородного массива вокруг очистной выработки.

3) При решении поставленной задачи по определению высоты и конфигурации зоны локальных сдвижений, наиболее предпочтительно применение численных методов решения, и в частности метода конечных элементов. Также возможна постановка и решение нелинейных задач, и в частности, учет пластических свойств деформирования как горных пород, так и крепи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.М. Петухов, А.М. Линьков. Механика горных ударов и выбросов. М., Наука, 1983, 280 с.
2. Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов: Справочное пособие/ И.М. Петухов, А.М. Линьков, В.С. Сидоров и др. – М.: Недра, 1992. – 256 с.
3. Структурные модели горного массива в механизме геомеханических процессов/ В.Н. Вылегжанин, П.В. Егоров, В.И. Мурашев – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 295 с.
4. А.Э. Петросян. Выделение метана в угольных шахтах. - М.: Наука, 1975. - 188 с.
5. А.Э. Петросян. Разработка пластов пологого падения с высокой газоносностью в Донбассе. - М.: Углетехиздат, 1954.
6. Природные опасности в шахтах, способы их контроля и предотвращения/ Карпов Е.Ф., Клебанов Ф.С., Петросян А.Э. и др. Под ред. Ф.С. Клебанова. – М., Недра, 1981. 471 с.
7. Е.Л. Звягильский. Миллион тонн угля комплексом ЗКД-90 при отработке выбросоопасного пласта на большой глубине. – Уголь Украины, 2002, №1. – с.12-16.