

В.Б. Демченко, В.Г. Колесников,  
Институт геотехнической механики НАН Украины

## **ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ МЕТАНА В ЗОНЕ СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

*Наведено результати теоретичних досліджень з формування колекторів метану в підроблюваному гірському масиві на полях шахт Донбасу при вийманні похилих та крутозалягаючих вугільних пластів.*

## **FORMATION OF THE MAN-CAUSED METHANE COLLECTORS IN THE ZONES OF ROCKS SLIDING**

*The results of theoretical researches of formation of the methane collectors in undermined rock massif in the minefields of Donbas while excavating inclined and steeped coal seams are presented.*

Подземная разработка угольных пластов сопровождается сдвижением горных пород и земной поверхности. Вследствие обрушения пород непосредственной кровли вынимаемого пласта, они разрыхляются в выработанном пространстве, подбучивая породы основной кровли. В пределах мульды сдвижения образуются полости расслоения и формируется блочная структура горного массива.

Выемка угольных пластов сопровождается выделением метана из пластов горного массива и его дренированием в выработки шахты или в земную атмосферу. Движение метана обусловлено его высоким природным давлением в пластах и повышением проницаемости подработанного горного массива в результате техногенного влияния. При этом значительная часть метана заполняет полости и трещины в обрушенных и расслоенных породах, формируя так называемые техногенные коллекторы метана на полях действующих и закрываемых шахт. Объем метана в техногенных коллекторах может достигать сотен тысяч кубических метров, а его давление - десятков атмосфер. В этих условиях метан, являясь ценным углеводородным сырьем, представляет собой полезное ископаемое, подлежащее добыче.

Существующие аналитические методы прогноза техногенных коллекторов шахтного метана не обеспечивают достаточную точность, а полуэмпирические - включают в себя ряд коэффициентов и эмпирических величин, использование которых для условий других угольных месторождений делает прогноз малонадежным. В этой связи актуальной является разработка теории формирования коллекторов метана на полях действующих и закрываемых шахт, особенно для условий крупнейшего месторождения Украины - Донбасса.

Основными техногенными коллекторами метана в угленосной толще являются выработанные пространства лав, старые горные выработки и техногенные трещины в зоне сдвижения подрабатываемых пород. Единой методики подсчета запасов метана нет, особенно с учетом метана в техногенных коллекторах на полях действующих шахт.

Анализ литературных данных показал, что расчет параметров коллекторов метана в условиях действующих или закрытых шахт недостаточно теоретически обоснован. При этом если для горизонтально залегающих пластов существуют ряд теорий, более или менее удовлетворительно описывающих процесс сдвижения, то для наклонно залегающих пластов нет удовлетворительных математических моделей сдвижения и образования метановых коллекторов в зоне сдвижения горных пород. Поэтому целесообразным является разработка математической модели формирования зон сдвижения как техногенных коллекторов шахтного метана в условиях горизонтально и наклонно залегающих пород.

Для расчета оседаний пород при выемке горизонтального пласта мощностью  $m$  установлена зависимость [1], согласно которой оседание точки горного массива в направлении нормали к напластованию равно:

$$\eta = (q_0 m / 4) \{ \Phi[A(D_1 - d - x)] - \Phi[A(d - x)] \} \{ \Phi[A(D_2 / 2 - d + y)] + \Phi[D_2 / 2 - d - y] \}, \quad (1)$$

где  $q_0$  - относительная величина максимального оседания;  $x, y$  - координаты точки горного массива;  $A$  - параметр, зависящий от свойств пород и удаления расчетной точки массива от вынимаемого пласта;  $D_{1,2}$  - размеры выработанного пространства;  $d$  - зависание пород над его границами.

Уравнение (1) не может быть использовано для условий негоризонтального залегания пород, так как не учитывает различие длин полумульд сдвижения, перемещение обрушающихся пород непосредственной кровли в нижнюю часть выработанного пространства лавы, эффект его забутовки этими породами и образование полости в кровле его верхней части. Кроме того, уравнение (1) недостаточно учитывает влияние свойств пород непосредственной кровли на параметры мульды сдвижения и не позволяет определять коллекторские свойства подрабатываемого массива - формирование техногенных внутрипластовых трещин и трещин расслоения горных пород.

Для условий выемки негоризонтальных пластов нами ранее разработана математическая модель, описывающая процесс формирования мульды сдвижения с учетом скатывания пород непосредственной кровли вынимаемого пласта по почве выработанного пространства [2] и влияние физико-механических свойств обрушающихся пород на величину  $q_0$  [3]. В результате исследований математическая модель сдвижения [1] существенно преобразована. На ее основе разработана математическая модель формирования коллекторов метана на поле шахты в условиях Донбасса, основные положения которой состоят в следующем.

Как известно, подрабатываемые породы кровли вынимаемого пласта представляют собой раздельноблочную среду. В процессе их сдвижения про-

исходит дезинтеграция каждого пласта или пачки пластов на блоки субнормальными пласту трещинами и трещинами расслоения.

Пусть слой породы (пласт), расположенный в мульде сдвижения, под действием горного давления делится на блоки. При относительно однородной текстуре пласта, неизменных механических свойствах породы и стабильных горнотехнических условиях выемки угля, подрабатываемый слой породного массива делится на блоки длиной  $a$ , шириной  $b$  и высотой  $c$ , равной, в общем случае, нормальной мощности подрабатываемого пласта.

В зоне растяжения верхней поверхности пласта, расположенной между плоскостями, проведенными под граничным углом сдвижения и плоскостью перегиба пласта, между смежными блоками образуется субнормальная пласту трещина раскрытием  $\Delta a$ . Тогда в направлении подвигания забоя коэффициент техногенной трещиноватости  $K_{mp}$  пород кровли составит:

$$K_{mp} = (\Delta ac/2)/(ac + \Delta ac/2) = \Delta a/(2a + \Delta a). \quad (2)$$

Величина  $\Delta a/a$  есть параллельная пласту деформация его верхнего слоя в направлении оси  $x$  -  $\varepsilon_x$ . Тогда из (2) имеем:

$$K_{mp}^{(x)} = \varepsilon_x/(\varepsilon_x + 2).$$

В направлении оси  $y$  получим:

$$K_{mp}^{(y)} = \varepsilon_y/(\varepsilon_y + 2). \quad (3)$$

Коэффициент трещиноватости пород кровли, обусловленной внутрипластовыми трещинами, составляет:

$$K_{mp} = K_{mp}^{(x)} + K_{mp}^{(y)} = \varepsilon_x/(\varepsilon_x + 2) + \varepsilon_y/(\varepsilon_y + 2). \quad (4)$$

В зоне массива, расположенной над выработанным пространством, верхняя поверхность пласта сжимается (техногенные трещины закрываются), а нижняя поверхность - растягивается с раскрытием существующих трещин. Величина  $K_{mp}$  для пород в этой зоне также вычисляется по формуле (4), из которой, в частности, следует, что техногенная трещиноватость горного массива, определяющая его коллекторские свойства, не зависит от размеров блоков породы.

Объем секущих трещин в объеме пласта размером  $\Delta x \Delta y \Delta z$  определяется из выражения:

$$V_{mp} = [\varepsilon_x/(\varepsilon_x + 2) + \varepsilon_y/(\varepsilon_y + 2)] \Delta x \Delta y \Delta z. \quad (5)$$

Рассмотрим далее закономерности образования трещин расслоения в подрабатываемых породах. Пусть две точки 1 и 2 в подрабатываемом горном массиве расположены на одной прямой, нормальной плоскости напластова-

ния пород, причем расстояние от вынимаемого пласта до нижней точки равно  $z$ , а расстояние между точками -  $\Delta z$ . Очевидно, для обеих точек при прочих равных условиях величина оседания  $\eta$  будет различной, так как в аргумент функции Гаусса, используемой для описания мульды сдвижения, входят параметры  $A$  и  $d$ , зависящие от  $z$ .

Коэффициент разрыхления толщи пород  $K_p$  между точками 1 и 2 равен:

$$K_p^{(z)} = (\eta_2 - \eta_1) / \Delta z_{1-2} = \Delta \eta_{1-2} / \Delta z_{1-2}, \quad (6)$$

где  $\eta_{1,2}$  - оседания точек 1 и 2, вычисляемые по [3] с учетом скатывания пород по напластованию, куполения кровли и физико-механических свойств обрушающихся пород.

Если  $\Delta z$  - единичная длина, то величина  $K_p^{(z)}$  характеризует газоемкостные свойства техногенного коллектора в направлении нормали к напластованию по-род.

Общее объемное разуплотнение пород кровли в зоне сдвижения характеризуется общим коэффициентом разуплотнения, определяемым из выражения:

$$K_k = K_{mp}^{(x)} + K_{mp}^{(y)} + K_p^{(z)} = \varepsilon_x / (\varepsilon_x + 2) + \varepsilon_y / (\varepsilon_y + 2) + \Delta \eta_{1-2} / \Delta z_{1-2}. \quad (7)$$

Объем коллекторов газа в подрабатываемых породах объемом  $V_n = \Delta x \Delta y \Delta z$  вычисляется по формуле:

$$V_k = K_k V_n = [\varepsilon_x / (\varepsilon_x + 2) + \varepsilon_y / (\varepsilon_y + 2) + \Delta \eta / \Delta z] \Delta x \Delta y \Delta z, \quad (8)$$

согласно которой геометрические параметры техногенного коллектора газа зависят от координат рассматриваемого объема подрабатываемых пород, параметров их сдвижения, компрессионных свойств пород непосредственной кровли вынимаемого пласта и размеров выработанного пространства.

Приведем пример прогноза геометрических параметров коллекторов метана при выемке угольного пласта в следующих условиях: район работ - Донбасс, марка угля - Г, подработка первичная, глубина работ 600 м, угол падения пластов  $50^\circ$ , вынимаемая мощность пласта 1 м, коэффициент разрыхления пород кровли пласта  $k_p = 1,3$ , коэффициент разрыхления уплотненных пород  $k_p^{y} = 1,08$ , длина выработанного пространства 1200 м, длина лавы 120 м, размеры расчетного объема подработанных пород -  $5 \cdot 5 \cdot 5 \text{ м}^3$ , координаты его центра:  $x = 1152 \text{ м}$ ,  $y = 42 \text{ м}$ ,  $z = 32 \text{ м}$ .

Подставив эти исходные данные в приведенные выше формулы, получим объем техногенного коллектора в расчетном объеме подрабатываемых пород:  $V_k = 1,625 \text{ м}^3$ , или  $0,013 \text{ м}^3 / \text{м}^3$  породы.

Остаточное давление газа  $P_z$  в подрабатываемом горном массиве можно определить, например, по методике, приведенной в [1].

Количество метана  $V_m$  в техногенных коллекторах на поле действующей или закрытой шахты вычисляется по формуле:

$$V_M = V_K P_z, \quad (9)$$

где  $V_K$  и  $P_z$  - соответственно геометрический объем техногенного коллектора и остаточное давление газа в подработанном массиве с учетом влияния выемки всех пластов.

Таким образом, разработана модель сдвижения негоризонтально залегающих пород, позволяющая рассчитать геометрические параметры, пространственное положение и количество метана в техногенных коллекторах в подрабатываемых породах на полях шахт Донбасса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мякенький В.И. Сдвижение и дегазация пород и угольных пластов при очистных работах.- Киев: Наукова думка, 1975. - 99 с.
2. Подорванов А.А., Демченко В.Б., Колесников В.Г. Модель сдвижения горного массива с учетом скатывания пород // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр./ ИГТМ НАН Украины.- Днепропетровск, 2001.- Вып.26.- с.108-112.
3. Подорванов А.А., Демченко В.Б. К учету влияния свойств подрабатываемого массива на его сдвижения // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр./ ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск, 2001.- Вып. 27.- с. 49-51.

УДК 622.411.332:550.832

Л.Л. Шкуро,  
ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск

### **ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ГАЗА В УГЛЕРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИНАХ**

*Розглянуто перспективи застосування акустичного каротажу для оцінки потенційних колекторів газу в вуглерозвідувальних свердловинах Донецького басейну*

### **THE USAGE OF AN ACOUSTIC LOGGING FOR DETERMINING THE POTENTIAL GAS COLLECTORS IN THE COAL EXPLORATION WELLS**

*The further development of using an acoustic logging for estimating the potential gas collectors in the coal-exploration wells in Donbas is shown.*