

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГАЗООБИЛЬНОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ГЕОЛОГО-ГЕОМЕХАНИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ

У статті приведена методика прогнозу газоносності гірничих виробок за геолого-геомеханічними чинниками та результати досліджень за даною методикою.

METHOD OF PROGNOSIS GAS-ABUNDANCE OF THE MINING MAKING ON GEOLOGICAL AND GEOMECHANICAL CRITERIA

The method of prognosis of gas-abundance of the mining making on geological and geomechanical factors and results of researches on this method are resulted in the article.

Донецкий угольный бассейн является энергетической базой угледобывающей отрасли Украины. Большинство шахт бассейна газоносны, причем с увеличением глубины добычных работ содержание метана в выработках увеличивается, что прямо или косвенно влияет на: скорость проходки, изменение метанонасыщенности горных выработок в обрабатываемом массиве, безопасность работы шахтеров. Указанные условия и существующие методы прогноза рассчитаны на разработку неглубоко залегающих угольных пластов с нагрузкой на лаву до 1000 т/сутки и не учитывают повышение объемов метановыделения с увеличением глубины. Решение этих проблем связано с комплексной разработкой способов прогнозирования зон скопления метана в углепородном массиве, прогнозом газообильности горных выработок, оптимизацией предварительной и текущей дегазации. Поэтому выполнение указанного комплекса горно-геологических задач по прогнозу зон скопления метана, газообильности горных выработок и последующей дегазации является актуальной научно-практической задачей для угледобывающей отрасли Украины.

Проведенные ранее исследования позволили выделить ряд геологических факторов, с помощью которых наиболее достоверно можно выделить зоны скопления метана на участке шахтного поля [1]. Предложенный комплекс геологических факторов включает ряд новых способов, разработанных в ИГТМ НАН Украины, на которые получены патенты Украины [2, 3] и усовершенствованные способы прогноза газа – метана, которые ранее применялись для прогноза выбросоопасности горных пород [4].

При изучении геомеханических параметров основой послужила теория сдвижения горного массива и земной поверхности, предложенная ВНИМИ, которая изложена в работах А.Н. Медянцева, М.А. Иофиса и др. [5-8]. Процесс сдвижения рассматривается как расслоение пород толщи, которое продолжается до тех пор, пока не буде восстановлено равновесие всех слоев надработанного горного массива. При этом образуется три зоны: беспорядочного обрушения; прогиба пород с образованием трещин разрыва; прогиба пород без разрыва сплошности.

Авторы работы [6] предлагают схему разуплотнения толщи горных пород

подвергшихся макродеформационным процессам при выемке угля из пологого одиночного угольного пласта (рис. 1). В подработанной толще пород формируется шесть зон:

I – зона обрушения, которая располагается непосредственно над очистной выработкой и распространяется на высоту до bt (t – вынимаемая мощность пласта);

II – зона прогиба, характеризующаяся возникновением в породах секущих (по нормали) трещин и трещин по напластованию пород, образующих систему сквозных водо- и газопроводящих трещин с незначительным аэродинамическим сопротивлением;

III – зона прогиба с образованием системы трещин со значительным аэродинамическим сопротивлением в пределах этой зоны;

IV – зона прогиба с возникновением отдельных трещин, не образующих единую систему водо- и газопроводящих трещин;

V – зона прогиба без разрыва сплошности пород;

VI – зона повышенных напряжений и деформаций сжатия, расположенная над угольным массивом.

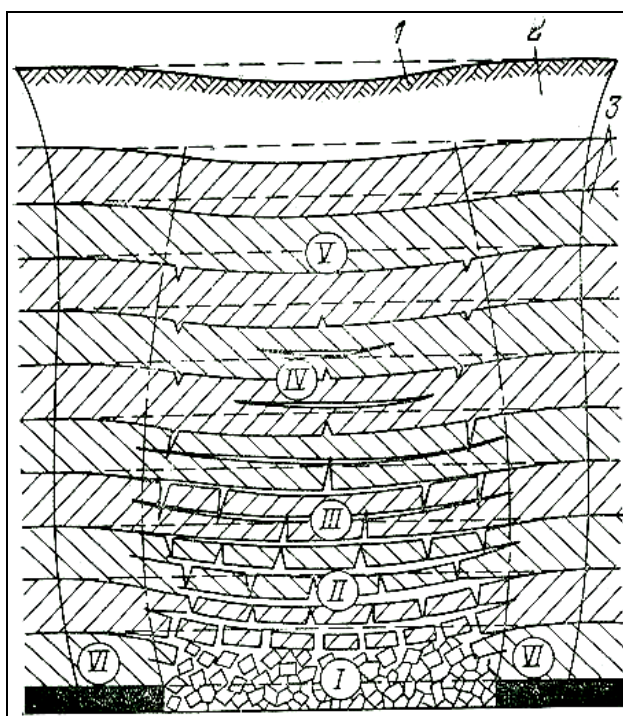


Рис. 1 - Схема деформирования подработанного массива горных пород и форма мульды сдвижения над выработанным пространством при выемке пологого угольного пласта одиночной лавой [6]

Для лучшего представления влияния каждой из зон, рассмотрим схему сдвижения и деформаций подработанного массива горных пород. Сдвижение горного массива пород начинается обычно с прогиба кровли пласта. По мере увеличения площади выработанного пространства прогиб пород растет, в сдвижение вовлекаются все большее число слоев, происходит сдвиг их по

плоскостям напластования, в толще появляются секущие трещины и трещины расслоения, при этом слои непосредственной кровли разбиваются обычно на отдельные блоки и обрушаются. В процессе сдвижения происходит изменение объема пород: в зоне повышенного (опорного) давления они уплотняются, а в зоне обрушения разрыхляются и, увеличиваясь в объеме, заполняют выработанное пространство, создавая подпор вышележащим слоям.

Модель сдвижения пород представленная на рис. 1, хорошо иллюстрирует формирование зон деформаций над выработанным пространством, что позволяет оценить ее с позиции дренирования газа. Наибольший приток газа в лаву будет происходить из I и II зоны за счет его выделения из разрушенных, разрыхленных и расчлененных на блоки пород. Зона III, после формирования зон I и II, в начале прогибается, и лишь затем в ней формируются трещины. Газ из этой зоны может попадать в выработанное пространство и увеличивать фоновое значение концентрации метана. Зона IV является зоной аккумуляции газа, и ее формирование во времени происходит позже.

Анализ проведения дегазационных мероприятий на шахтах Донбасса показывает [9], что по фактору влияния на аэрогазодинамическую обстановку работающей шахты газ подработанной угленосной толщи можно условно разделить на две части: «быстрый газ» - метан, увеличивающий газообильность работающей лавы иногда в 2 и более раз, который поступает из I и II зон, и «медленный газ» - метан, содержащийся в III и IV зонах, который медленно дренирует в выработанное пространство, повышая фоновую концентрацию.

Проведенные исследования и анализ литературных данных послужили основой для разработки методики прогноза газообильности по геолого-геомеханическим факторам, которая заключается в следующем.

Как показывает опыт [10], при прочих одинаковых условиях газообильность горных выработок изменяется главным образом в зависимости от скорости подвигания угольных забоев, которая в условиях одного и того же забоя может изменяться в больших пределах, и при наблюдениях за газообильностью горных выработок не удастся уловить ярко выраженную закономерность. Поэтому необходимые для инженерных расчетов аналитические зависимости получаются лишь в тех случаях, когда анализ газообильности выработок основан на предположении, что скорость подвигания забоя данной выработки по простиранию или падению пласта постоянна. Допустимость же равномерности подвигания забоев оправдывается тем, что каждая шахта имеет заданную планом суточную производительность, которая предусматривает соответствующую суточную нагрузку на очистной забой и суточную скорость подвигания забоев, и в проекты шахт должны закладываться научно обоснованные оптимальные параметры, обеспечивающие ритмичную работу шахты и отдельных ее участков.

Для расчета газообильности горных выработок, принимаем, что сдвижение горного массива можно выразить в виде «условных» блоков. Выделение «условных» блоков производим следующим образом. Исходя из того, что га-

зообильность лавы зависит от скорости подвигания очистного забоя принимаем, среднюю скорость проходки равную l , м/сут. Величину блока принимаем равную месяцу отработки лавы D , сут. Тогда среднюю величину «условного» блока можно выразить в виде уравнения:

$$B = D \times l, \quad (1)$$

где B – средняя величина «условного» блока, м; D – количество суток, сут; l – средняя скорость проходки, м/сут.

Расчет количества «условных» блоков посадки рассчитываем следующим образом, если длина столба составляет L , м, тогда:

$$N = \frac{L}{B}, \quad (2)$$

где N – количество «условных» блоков.

Таким образом, при проседании первого «условного» блока разуплотнение горного массива происходит на высоту h_1 , проседание второго «условного» блока, согласно закономерности формирования мульды сдвижения, вызывает разуплотнение массива на высоту $h_2 = h_1 + \Delta h$, следующего блока на $h_3 = h_1 + 2\Delta h$ и т.д. до максимального значения мощности разуплотнения h_{max} . Следовательно, формулу высоты разуплотнения можно записать в таком виде:

$$h_{max} = h_1 + (n_i - 1)\Delta h, \quad (3)$$

где n_i – количество «условных» блоков, при которых достигается максимальное разуплотнение массива.

Для расчета Δh принимаем, что h_1 – соответствует зоне II (M_2 , м), а h_{max} – зоне III (M_3 , м) [6]. Тогда Δh , м рассчитывается следующим образом:

$$\Delta h = (h_{max} - h_1) / (n_i - 1) \quad (4)$$

Для расчета M_2 и M_3 воспользуемся формулами:

$$M_2 = \frac{C_2 \times m_{omp}}{E_{n.c.} \times \Delta K_a}, \quad (5)$$

$$M_3 = \frac{C_3 \times m_{omp}}{E_{n.p.} \times \Delta K_a}, \quad (6)$$

где C_2 , C_3 – коэффициенты, учитывающие зависимость горизонтальных деформаций слоев в различных зонах, изменяющиеся в пределах соответствен-

но 0,1 - 0,2; 0,2 – 0,3; $m_{отр}$ – вынимаемая мощность пласта, м; $E_{н.с.}$ – предельные относительные деформации сжатия, при которых происходит разрушение горных пород; которые для песчаников, алевролитов и аргиллитов изменяются от 0,010 до 0,012; $E_{н.р.}$ – предельно относительные деформации растяжения, при которых горные породы начинают терять сплошность и в них начинают появляться трещины; для алевролитов и аргиллитов – 0,006 – 0,008, песчаников – 0,003-0,004, углей – 0,002-0,003 и известняков – 0,005 -0,008; ΔK_a – поправочный безразмерный коэффициент, учитывающий влияние угла падения пород на развитие деформаций в массиве.

Поправочный коэффициент ΔK_a определяется по формуле:

$$\Delta K_a = \frac{0,75}{0,75 - 0,16 \frac{\alpha}{\rho}}, \quad (7)$$

где α – угол падения пород; ρ – переводной коэффициент равный 57°.

Следовательно, вышесказанное можно представить в виде следующей схемы, представленной на рисунке 2. Тогда коэффициент влияния разуплотнения над отработываемой лавой принимает вид:

$$K_{разуп.} = \frac{h_i}{h_{max}} k_{изв}, \quad (8)$$

где h_i – величина разуплотнения исследуемого i -того «условного» блока, м; h_{max} – величина максимального разуплотнения углепородного массива, м; $k_{изв}$ – коэффициент извлекаемости, который составляет 0,6 – 1.

Как указывалось выше, на скопление углеводородов в горном массиве влияют геологические факторы: усредненные локальные структуры, зоны трещиноватости пород, палеопотоки. Для оценки влияния геологических факторов вводим безразмерный коэффициент K_z , который рассчитывается по формуле:

$$K_z = \frac{K_{у.л.с.} + K_{тр.} + K_n}{n_i}, \quad (9)$$

где $K_{у.л.с.}$ – коэффициент влияния усредненных локальных структур на газообильность горных выработок; $K_{тр.}$ – коэффициент влияния трещиноватости на газообильность горных выработок; K_n – коэффициент влияния палеопотока на газообильность горных выработок; n_i – количество показателей, участвующих при расчете коэффициента K_z .

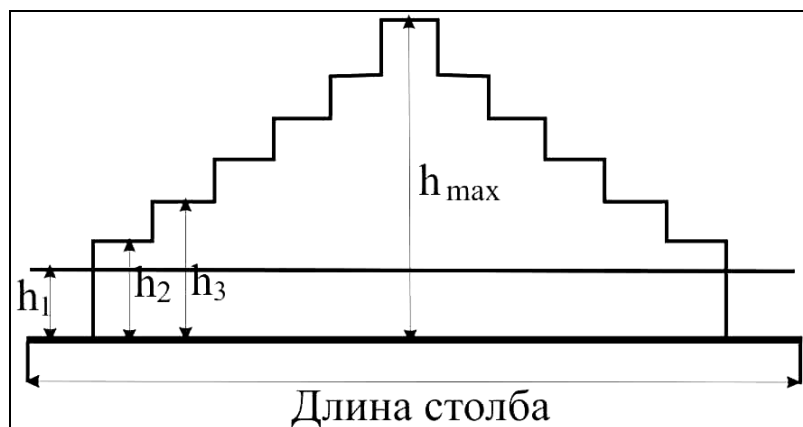


Рис. 2 - Схема выделения «условных» блоков для обрабатываемой лавы

Таким образом, если представить углепородный массив без каких либо факторов, влияющих на газообильность горных выработок, он будет равен единице. Тогда коэффициент влияния усредненных локальных структур принимает вид:

$$K_{у.л.с.} = 1 + K'_{у.л.с.}, \quad (10)$$

где $K'_{у.л.с.}$ – коэффициент влияния усредненных локальных структур для определенного исследуемого участка лавы («условного» блока).

Согласно выводам в работе [11], минимальный изгиб пликативных нарушений (отношение высоты складки к ее длине), при котором формируется суфляры, составляет 1/50 для антиклинальных складок и 1/35 для синклинальных. Тогда, расчет коэффициента $K'_{у.л.с.}$ выполняется следующим образом:

$$K'_{у.л.с.} = \frac{L'}{l'} \div 100, \quad (11)$$

где L' - расстояние от начала лавы до середины исследуемого «условного» блока, м; l' - превышение усредненных локальных структур для исследуемого «условного» блока, м.

Коэффициент трещиноватости ($K_{тр.}$) определяется следующим образом, аналогично с усредненными локальными структурами массив представляется в виде единицы, следовательно, данный коэффициент принимает вид:

$$K_{тр} = 1 + K'_{тр}, \quad (12)$$

где $K'_{тр}$ - коэффициент влияния трещиноватости углепородного массива для определенного исследуемого участка лавы («условного» блока).

Исходя из геологических построений (карты трещиноватости углепород-

ного массива) для каждого исследуемого «условного» блока рассчитывается коэффициент влияния трещиноватости, т.е. в каждом условном блоке количество изолиний трещиноватости может изменяться, следовательно, необходимо рассчитать среднюю трещиноватость для исследуемого условного блока, тогда коэффициент K'_{mp} можно выразить в виде формулы:

$$K'_{mp.} = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_i}{i_i}, \quad (13)$$

где $I_1, I_2 \dots I_i$ – значения изолиний, попадающие на площадь исследуемого «условного» блока; i_i – количество изолиний, попадающее на площадь исследуемого «условного» блока.

Коэффициент влияния палеопотока (K_n) определяется следующим образом. Аналогично с усредненными локальными структурами и трещиноватостью пород массив представляется в виде единицы, следовательно, данный коэффициент принимает вид:

$$K_n = 1 + K'_n, \quad (14)$$

где K'_n – коэффициент влияния палеопотока для исследуемого «условного» блока.

Исходя из геологических построений (карты палеопотоков) для каждого исследуемого «условного» блока принимается коэффициент влияния палеопотока. То есть в каждом «условном» блоке определяется значение изолинии изменения палеопотока, при котором должно выполняться следующее условие: так как карты палеопотоков строятся для наиболее мощных песчаников расположенных в кровле угольного пласта и их влияние на газообильность горных выработок формируется при разуплотнении углепородного массива, по геологическому разрезу (каротажной диаграмме скважины) снимается расстояние до почвы песчаника, которое должно соответствовать условию:

$$h_i < h_n \text{ или } h_i > h_n, \quad (15)$$

где h_i – величина разуплотнения исследуемого i -того «условного» блока, м; h_n – расстояние от разрабатываемого угольного пласта до почвы песчаника, по которому строилась карта палеопотоков, м.

На следующем этапе исследований необходимо рассчитать плотность газа в углепородном массиве. Формулы для расчета газа в углях и породах принимаются в соответствии с [9].

По данной методике проводились исследования по прогнозу газообильности горной выработки на одной из шахт Донецкого-Макеевского района. Для этого по каротажным диаграммам или геологическим разрезам скважин, расположенных наиболее близко к исследуемому участку, выполняем расчет газа

в породах для каждой литологической разности по известным формулам до величины максимального разуплотнения пород. Произведя пересчет газа на метры кубические в минуту из пород кровли и угольного пласта для заданной площади выделенного исследуемого «условного» блока, получаем 117,33 м³/мин.

Далее производится расчет коэффициента влияния геологических факторов по формулам (9), (10), (12), (13), (14).

На следующем этапе производим расчет газообильности горной выработки. Произведенные расчеты плотности запасов метана в породах и угле (117,33 м³/мин) умножаем на коэффициент влияние геологических факторов для каждого «условного» блока. Далее полученный результат умножаем на коэффициент разуплотнения углепородного массива для каждого «условного» блока. Результаты расчета прогнозируемой и фактической газообильности представлены в таблице 1.

Значение корреляции между фактической и расчетной газообильностью для лавы исследуемой шахты составило $r = 0,84$ (рис. 3)

Таблица 1 - Расчетная и фактическая газообильность горной выработки исследуемой шахты

«Условные» блоки	Газообильность горной выработки с учетом геологических факторов, м ³ /мин	Газообильность горной выработки с учетом геомеханических факторов, м ³ /мин	Расчетная газообильность горной выработки м ³ /мин,	Фактическая газообильность горной выработки м ³ /мин,	Разность показателей газовой выделенности, м ³ /мин	Отличие от фактического, %
1	158,39	49,10	49,10	65,30	16,19	32,90
2	160,74	72,33	72,33	69,60	-2,73	3,70
3	168,95	68,59	68,59	63,80	-4,79	6,90
4	171,30	86,33	86,33	73,80	-12,53	14,50
5	168,95	94,44	94,44	81,00	-13,44	14,20
6	168,95	101,37	101,37	80,00	-21,37	21,10
7	170,12	85,74	85,74	79,10	-6,64	7,70
8	168,95	69,94	69,94	61,10	-8,84	12,60
9	172,47	63,98	63,98	-	-	-
10	160,74	61,08	61,08	-	-	-
11	163,08	35,87	35,87	-	-	-
Среднее	-	-	-	-	-	14,20

Как видно из таблицы 1, отличие расчетных значений газообильности от фактических составляет в среднем для всей лавы около 14 %. Высокий коэффициент корреляции $r = 0,84$, может быть приемлемым для прогноза газообильности горных выработок. Учитывая то, что на показатели газообильности влияют различные схемы вентиляции, а так же то, что ошибка замеров

дебита метана в вентиляционных потоках может составлять до 20 %, выполненную прогнозную оценку по предложенной модели с учетом геологических и геомеханических факторов можно считать удовлетворительной.

Данные исследования проводились при финансовой поддержке гранта Президента Украины.

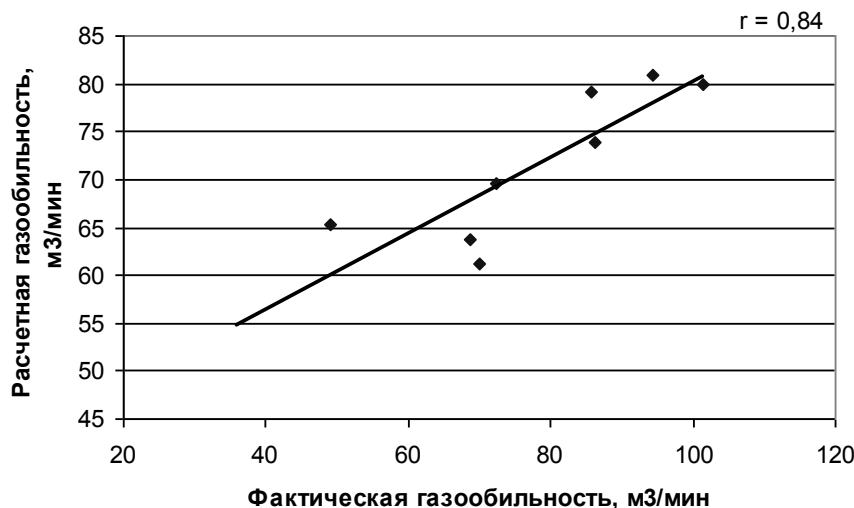


Рис. 3 - Значения коэффициента корреляции между расчетной и фактической газообильностью для лавы исследуемой шахты

Список литературы

1. Пашенко П.С. Геологические факторы образования зон скопления метана на примере шахт Донецко-Макеевского района / Геотехническая механика. – 2008. - № 80. – С. 345 – 351.
2. Патент Украины № 34472 E21F 7/00. Спосіб визначення зон тріщинуватості у вуглепородному масиві. От 11.08.2008. Бюл. № 15.
3. Патент Украины № 41696 E21F 7/00 G01V 9/00. Спосіб визначення зон скупчення метану у стратиграфічному інтервалі на шахтах та ділянках розвідки. От 10.06.2009. Бюл. № 11.
4. Забигаило В.Е., Лукинов В.В., Широков А.З. Выбросоопасность горных пород Донбасса. – К.: Наукова думка, 1983. – 288 с.
5. Сдвижение горных пород и земной поверхности при подземных разработках. Под общей ред. В.А. Букринского, Г.В. Орлова. - М.: Недра, 1984. -247с.
6. Иофис М.А., Шмелев А.И. Инженерная геомеханика при подземных разработках. – М.: Недра, 1985. – 248 с.
7. Черняк И.Л., Якунин. Управление состоянием массива горных пород. М.: Недра, 1995. – 396 с.
8. Медянцева А.Н., Полонский В.И. Расчет границы влияния подземных выработок на земную поверхность при неполной подработке. - Изв. Северо-Кавказкого научного центра высшей школы, 1974. - № 4.-С. 17-19.
9. Лукинов В.В., Фичев В.В., Клец А.П. Принципы оценки ресурсов извлекаемого метана из подработанной толщи / Геотехническая механика. – 2002. - № 32. – С. 30 – 40.
10. Петросян А.Э. Выделение метана в угольных шахтах. – М.: Наука, 1975, - 188 с.
11. М. А. Фролов, А.И. Бобров. Суффлярные выделения метана в угольных шахтах. М., Недра, 1971, - 160 с.

Рекомендовано до публікації д.геол.н. В.А. Барановим 14.08.09