

9. Visualization in Scientific Computing, Special Issue, ACM SIGGRAPH Computer Graphics, V. 21, N 6, November 1987.
10. Слащева, Е.А. Экспресс-оценка напряженно-деформированного состояния породного массива вокруг геотехнических объектов / Е.А. Слащева // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2007. – Вып. 68. – С. 269-277.
11. Слащев, И.Н. Прогноз устойчивости систем комбинированного поддержания подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях глубоких шахт / И.Н. Слащев // Сб. науч. трудов НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2010. – № 35, Том 1. – С. 67-77.
12. Слащев, И.Н. Оценка техногенной трещиноватости методами математического моделирования / И.Н. Слащев // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2010. – Вып. 85. – С. 239-250.
13. Слащев, И.Н. Метод учета избыточных газовых давлений при решении геомеханических задач современными компьютерными технологиями / И. Н. Слащев // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2010. – Вып. 88. – С. 112-118.
14. Экспериментально-аналитический метод прогноза направлений и интенсивности газовых потоков / А.Ф. Булат, С. А. Курносов, И. Н. Слащев [и др.] // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2005. – Вып. 59. – С. 10-21.
15. Руководство по геофизической диагностике состояния системы "крепь - породный массив" вертикальных стволов: Дополнение к «Пособию по восстановлению крепи и армировки вертикальных стволов. РД 12.18.073-88» / А.Ф. Булат, Б.М. Усаченко, А.А. Яланский и др. – Донецк: ООО "Лебедь", 1999. - 42 с.
16. Дегазація вугільних пластів та вміщуючих порід з застосуванням газозбірної виробки. Схеми дегазації : СОУ 10.1.05411357.006:2007. – [Чинний від 2008-04-01] / А.Ф. Булат, А.Т. Курносов, С.А. Курносов, І.М. Слащов та ін. – Офіц. вид. – К. : Мінвуглепром України, 2007. – 31 с.
17. Слащева, Е.А. Оценка влияния водонасыщенности пород на их напряженно-деформированное состояние и проявления горного давления в выработках / Е.А. Слащева // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2009. – Вып. 83. – С. 111-122.

УДК 622.24.537.528

Д-р техн. наук Б.В. Бокий
(ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

ДЕГАЗАЦИЯ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРОБУРЕННЫМИ ИЗ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК СКВАЖИНАМИ

На підставі аналізу результатів вимірів змісту метану в виробленому просторі, запропоноване алгоритм розрахунків параметрів дегазації

DEGASSING OF THE PRODUCED SPACE BY THE MINING HOLES BORED FROM MOUNTAIN MAKING

Based on analysis of measurements of methane produced in the space offered by calculation algorithm parameters degassing

В Донецком бассейне более половины выемочных участков шахт III категории по метану (и выше) проветриваются по схемам, предусматривающим отвод исходящих вентиляционных струй на выработанное пространство. При больших нагрузках на очистные забои дегазация окружающего угленосного массива оказывается недостаточной для обеспечения допустимого по ПБ содержания метана в утечках воздуха через выработанное пространство. В результате выхода из него взрывоопасной смеси на границе выработанного пространства с вентиляционной выработкой образуются слоистые скопления. Наиболее часто такие ситуации возникают при схемах проветривания с подсвежением исходящей струи, которые позволяют увеличивать добычу угля без увеличения расхода воздуха через лаву. При таких схемах воспламенение метана и пожары в воздухоотводящих выработках происходили неоднократно. В связи с этим исключить подобную опасность возможно путем применения одновременно дегазации

пластов-спутников и дегазации выработанного пространства. На практике применяли два способа такой дегазации [1]:

- отбором газа «отростками» газопровода, установленными в выработанном пространстве, через бутовую полосу или другой изолятор;

- отсасыванием газа через скважины, пробуренные в купол обрушения.

Оба этих способа не получили применения и были исключены из нормативного документа [2] по следующим причинам.

Эффективность отбора газа через «отростки» газопровода очень низка в связи с тем, что большая часть метана выделяется в вентиляционную выработку по трещинам в кровле, заполняя купол и другие пустоты за крепью выработки. Содержание метана на уровне вынимаемого пласта, в зоне активного метано-выделения (100-200 м от очистного забоя), как правило, не превышает 10%.

Попытки увеличить эффективность дегазации путем изоляции выработанного пространства в пределах мощности вынимаемого пласта практически не повлияли на дебит метана, так как он выделялся через трещины в верхнюю часть воздухоотводящей выработки [3].

Бурение скважин в купол обрушения также во многих случаях оказалось неэффективным в связи с отсутствием метода расчета дебита и содержания метана в отсасываемом газе, без которого невозможно создание проекта дегазационной системы, обеспечивающей требуемую эффективность.

Нами поставлена цель - разработать метод проектирования дегазации выработанного пространства скважинами, пробуренными из горных выработок. Для её достижения потребовалось изучить распределение метана в части выработанного пространства, примыкающей к воздухоотводящей выработке.

Исследования заключались в измерениях расхода газозвушной смеси и содержания в ней метана, поступающего из выработанного пространства в исходящую вентиляционную струю участка на различном расстоянии от очистного забоя, а также в измерениях содержания метана с увеличением высоты над пластом.

Расход воздуха и дебит метана определяли по разности этих параметров, измеренных одновременно в двух пунктах воздухоотводящей выработки и в контрольном пункте, расположенном постоянно на выходе исходящей вентиляционной струи за пределами выемочного участка:

$$\Delta Q = (Q_1 - Q_2) \frac{V_{к.сп}}{V_{ки}}; \quad (1)$$

$$\Delta I = 0,01(Q_1 C_1 - Q_2 C_2); \quad (2)$$

$$C_{в.и} = \frac{100\Delta I}{\Delta Q + \Delta I}, \quad (3)$$

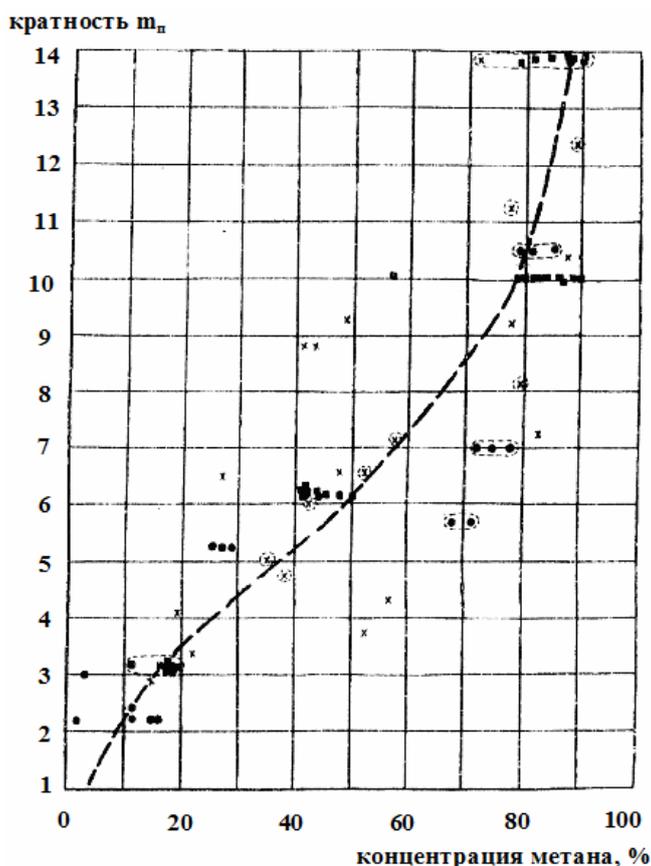
где Q_1 и Q_2 – расходы воздуха в воздухоотводящей выработке, м³/мин; $V_{к.сп}$ и $V_{ки}$ – средние скорости воздуха в контрольном пункте за все время наблюдений и в момент данного измерения, м/с; C_1 и C_2 – содержания метана в пунктах измерений, %.

Содержание метана на различном расстоянии от разрабатываемого пласта измеряли в призабойной части скважины в процессе бурения. Пробы газа отбирали отсасыванием с помощью специального зонда и анализировали с помощью шахтного интерферометра. Впервые такой метод был применен Алейниковой Г.М. [3] и использован нами в шахтах им. А.Ф. Засядько и им. В.М. Бажанова. Совокупный анализ данных, полученных этим методом, показал, что в диапазоне расстояний от 3 до 10 мощностей вынимаемого пласта происходит быстрое увеличение содержания метана от 5 до 90% (рис. 1).

Изменения содержания метана в выработанном пространстве на уровне мощности разрабатываемого пласта исследовано в девяти лавах пяти шахт (табл.1), охватывающих весь спектр условий, характерных для пологих пластов Донбасса. Анализ результатов позволил установить зависимости расхода воздуха, дебита и содержания метана с удалением от очистного забоя

$$Q_{en.i} = Q_{en} \exp((0,3f - 4)l_i 10^{-2}), \quad (4)$$

где Q_{en} – общий расход воздуха через выработанное пространство, м³/мин;
 f – крепость пород кровли в интервале до восьми мощностей разрабатываемого пласта; l_i – расстояние от очистного забоя, м.



■ – шахта 1-1 «бис»; x – шахта 2-2 «бис»; • – шахта им.В.М. Бажанова; ○ – шахта им.А.Ф. Засядько

Рис. 1 – Распределение концентрации метана по высоте выработанного пространства.

Таблица 1 - Характеристика объектов исследования распределения воздуха в воздухоотводящих выработках

Шахта, лава	Длина забоя, $l_{оч}$, м	Мощность пласта, $m_в$, м	Угол залегания, град.	Выход летучих, $V^{дф}$, %	Схема проветривания лавы / Крепость пород кровли	Способ охраны выработок	
						под вентиляционным штреком	над конвейерным штреком
Им. А.Ф. Засядько 10-я западная, пл. l_1	220	1,9	21	32	2-В/7,4	Чураковая стенка. Два ряда БЖБТ, покрытые пеной	Чураковая стенка. Литая полоса и перемычка через 50 м
12-я западная, пл. l_1	250	1,95	15	32	1-К/7,4		
9-я западная, пл. l_1	250	1,75	20	32	2-В		
Им. В.М. Бажанова 5-я восточная, пл. m_3	220	1,5	5	27	2-В/3,9	Бутовая полоса 5 - 6 м	Бутовая полоса 10 - 12 м
3-я западная, пл. m_3	220	1,4	5	27	2-В/3,9		
«Краснолиманская» 4-я северная, пл. m_4^2	250	1,1	8	40	2-В/6,7	Клет	Клет
«Белореченская» 2-я западная, пл. l_6	260	1,6	5	40,6	2-В/5,7	Клет	Клет
«Южно донбасская №3» 2-я восточная, пл. C_{11}	260	1,6	8	36,8	2-В/4,3	Клет	Клет
Им. В. И. Ленина 2-я северная, пл. l_7	180	1,3	3	29	2-В/3,0	Бутовая полоса 5 м	Бутовая полоса 10 м

$$I_{кр.i} = I_{кр} \left(\frac{l_i}{L_{\max}} + 1 \right) \exp \left(- \frac{l_i}{L_{\max}} \right), \quad (5)$$

где $I_{кр}$ – дебит метана, выделяющегося из кровли, м³/мин; L_{\max} – расстояние от очистного забоя до места максимального дебита метана из кровли, м.

$$L_{\max} = 9 + 0,81M_p, \quad (6)$$

где M_p – предельное расстояние, на котором метан из пластов-спутников поступает в выработки, м [4].

$$M_p = \frac{250m_{\epsilon}k_{\lambda}}{E_{кр} 10^3}, \quad (7)$$

где m_{ϵ} – вынимаемая мощность пласта; $E_{кр}$ – предельная деформация, зависящая от расстояния (для угля $E_{кр} = (2-3)10^{-3}$); k_{λ} – коэффициент степени метаморфизма, определяемый по [5].

$$C_{\epsilon n.i} = \frac{100I_{\epsilon n.i}}{I_{\epsilon n.i} + Q_{\epsilon n.i}}. \quad (8)$$

На основании анализа результатов измерений содержания метана по высоте выработанного пространства получена зависимость

$$k_c = 2 \cdot 10^{-3} \exp \left(0,233 \frac{h_c}{m_{\epsilon}} \right) l_i + 0,274 \exp \left(0,177 \frac{h_c}{m_{\epsilon}} \right), \quad (9)$$

где $k_c = C_i C_{\epsilon n.i}^{-1}$ – отношение содержания метана на высоте h_c и расстоянии l_i от очистного забоя к содержанию метана на уровне пласта на том же расстоянии l_i от очистного забоя.

Полученная зависимость (9) позволяет определить расход газовой смеси, который нужно каптировать с помощью скважин, пробуренных на высоту h_c , чтобы получить требуемую эффективность дегазации. Высота h_c выбирается в диапазоне от 10 до $30m_{\epsilon}$.

Расчет выполняется в следующем порядке.

1. Определяют поинтервальные (величина интервала – 10 м) дебиты метана с удалением от очистного забоя

$$\Delta I_{кр} = I_{кр.i} - I_{кр.i+1}. \quad (10)$$

Значение $I_{кр.i}$ рассчитывается по (5).

2. Рассчитывают поинтервальные расходы газовой смеси на высоте h_c

$$\Delta Q_c = \frac{100 \Delta I_{кр}}{C_{i+1}}. \quad (11)$$

где C_{i+1} – содержание метана в конце данного интервала (%), определяемое по (9).

Расчеты выполняют до расстояния $l_i = 300$ м.

3. Определяют количество интервалов, начиная с последнего, для которых сумма дебитов равна требуемому (I_{zo}) дебиту каптажа, обеспечивающему необходимую эффективность дегазации.

4. Определяют суммарный расход газовой смеси на этих интервалах (Q_{zo}), который необходимо отводить через скважин.

5. Содержание метана в каптированном газе

$$C_{zo} = \frac{100 I_{zo}}{Q_{zo}}. \quad (12)$$

По рассчитанным параметрам Q_{zo} и C_{zo} выбирают источник тяги и определяют традиционным методом расчета диаметр газопровода.

Определяют параметры бурения скважин, принимая их конечный диаметр не менее 93 мм.

7. 1. Количество одновременно работающих скважин

$$n_c = \frac{38,1 k_{дез}^{1,7} I_{zo}^{0,42}}{\left(\frac{h_c}{m_g}\right)^{0,93}}, \quad (13)$$

где $k_{дез}$ – требуемая эффективность дегазации выработанного пространства, д.е.

7.2. Интервал между скважинами

$$r_c = \frac{L_{np} - 20}{1,3n_c - 1},$$

где L_{np} – расстояние от очистного забоя, на котором сумма дебитов интервалов равна требуемому дебиту каптажа, м.

7.3. Угол разворота к оси выработки – 90° .

7.4. Угол подъема рассчитывают в соответствии с [2], принимая высоту положения забоя над пластом равной h_c .

Предлагаемый алгоритм расчета дегазации выработанного пространства позволяет обеспечить требуемую эффективность при содержании метана в каптuriруемом газе более 20%.

На основании выше сказанного можно сделать следующие выводы:

- для исключения воспламенения слоевых скоплений метана при схемах проветривания с подсыезением исходящей струи целесообразно одновременно осуществлять дегазацию пластов-спутников и выработанного пространства;
- на основании анализа экспериментальных результатов распределения концентрации метана по высоте выработанного пространства получена зависимость, позволяющая определить расход газовой смеси, который нужно каптuriровать скважинами для получения требуемой эффективности дегазации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по дегазации угольных шахт. – М.: Недра, 1975. – 189 с.
2. СОУ 10.1.00174088.001.2004. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации.
3. Алейникова Г.М. Влияние изоляции выработанного пространства на распределение утечек воздуха и концентрации метана в них / Г.М. Алейникова // Борьба с газом, пылью и выбросами в угольных шахтах: сб. Материи. – №9. – 1973. – С. 34-40.
4. Иофис М.А. Инженерная геомеханика при подземных разработках / М.А.Иофис. – М.: Недра, 1985. – 248 с.
5. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. ДНАОТ 1.1.30–6.09.93: Утв. Приказом Государственного комитета Украины по надзору за охраной труда 20.12.1993 № 131. – К : Основа, 1994. – 311 с.

УДК 622.411.335:533.15

Канд. техн. наук А.В. Боровский
(ИГТМ НАН Украины)

ОСОБЕННОСТИ АЭРОДИНАМИКИ ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК, ВЛИЯЮЩИХ НА УРОВЕНЬ НАГРУЗКИ ПО ГАЗОВОМУ ФАКТОРУ

Розглянуті особливості аерогазодинаміки очисного вибою у районі роботи вугільного комбайна, пов'язані з орієнтуванням його корпусу в уступі, та особливості мікроструктури турбулентного вентиляційного потоку від впливу геометричних параметрів привибійного кріплення

AERODYNAMICS CLEARING WORKING FEATURES AFFECTING THE LEVEL PRESSURE FOR GOR

Features aerogasdynamics clearing development around work of the coal combine, its cases connected with orientation in a ledge are considered, and features of a microstructure of a turbulent ventilating stream from influence of geometrical parameters near the bottom fix

Движение воздушных масс в очистных выработках представляет собой суперпозицию трех отдельных аэродинамических (условно внешних) задач – обтекание уступа в районе работы комбайна, гидравлических стоек механизированной крепи, верхняков и оснований секций этой крепи. Течение у перечисленных элементов происходит с отрывом пограничного слоя и образованием вихревых зон. Последнее оказывают особое влияние на массоперенос метана в поперечном направлении к вентиляционному потоку.