

УДК 622.411.33

Стариков Г.П., директор ГУ «ИФГП»
Подрухин А.А., научный сотрудник ГУ «ИФГП»
Шажко Я.В., зам. директора ГУ «ИФГП»
Государственное учреждение «Институт физики горных процессов»,
г. Донецк

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ НАКОПЛЕНИЯ ОПАСНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ЗАМКНУТЫХ ОБЪЕМАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕР- РИТОРИИ ГОРНЫХ ОТВОДОВ ЗАКРЫТЫХ ШАХТ

При закрытии угольных шахт на площадях, подверженных влиянию горных работ, неизбежно происходит выделение метана на земную поверхность. Это обусловлено тем, что закрытие шахт приводит к остановке вентиляционного и насосного оборудования, заполнению выработанного пространства метаном, который при дальнейшем затоплении вытесняется оттуда водой и по трещинам и порам горных пород перемещается к земной поверхности. При наличии на поверхности зданий и сооружений возникает вероятность вытеснения из них воздуха метаном, обладающим более низкой плотностью и вязкостью. Опасность этого явления заключается в способности метана замещать кислород, создавая атмосферу опасную для жизни человека, а также формировать взрывоопасные концентрации.

Кинетика протекания метана к поверхности и накопления в замкнутых объемах определяется проницаемостью горных пород, зависящей от степени их нарушенности и уровня напряженно-деформированного состояния горного массива.

Наиболее достоверным методом исследования проницаемости угля и вмещающих пород применительно к массиву, находящемуся под действием горного давления, может быть испытание образцов на установке неравнокомпонентного трехосного сжатия (УНТС) [1], поскольку данная установка позволяет моделировать в образце любое реальное соотношение главных напряжений, характерных для различных условий залегания.

Для моделирования процесса фильтрации рассматривалась возможность прохождения газа через углеродный массив из выработанного пространства по направлению к земной поверхности, поэтому сжатый воздух подавался на исследуемые образцы горных пород только по направлению оси σ_1 . Моделирование условий залегания проводилось с учетом того, что на сегодняшний день выработанное пространство большинства закрытых угольных шахт расположено в диапазоне глубин 200-700 м. Кроме этого, в процессе моделирования определялось время формирования стационарного потока газа через образец (t_0 , c), которое учитывалось при расчетах времени фильтрации метана через толщу горных пород.

Для моделирования условий залегания горных пород необходимо рассчитать нагрузку на образец по каждой оси (σ_i), при этом должно соблюдаться соотношение $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$.

Нагрузка на образец по каждой оси (σ_i , кгс/см²) рассчитывается по формуле [1]:

$$\sigma_i = \frac{314}{S} \cdot N_g \cdot C \quad (1)$$

где S – площадь нажимной плиты, см²;
 N_g – количество делений на манометре;
 C – цена деления манометра.

После получения необходимых экспериментальных данных, выполняются расчеты газопроницаемости исследуемых горных пород. Проницаемость горных пород (K , м²) определялась по формуле Лейбензона [2]:

$$K = \frac{V_{hc} \cdot 2 \cdot L}{k_B \cdot T \cdot S \cdot (P_{bx}^2 - P_{vых}^2)} \cdot (\mu \cdot \beta \cdot m_0 \cdot \frac{\Delta P_{hc}}{t_0}) \quad (2)$$

где V_{hc} – объем накопительного сосуда, м³ ($V_{hc} = 400 \cdot 10^{-6}$ м³);
 L – длина образца, м;
 k_B – постоянная Больцмана ($k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж·К⁻¹);
 T – температура, К ($T = 298$ К);
 S – площадь сечения образца, через которую фильтруется газ, м²;
 $P_{bx}, P_{вых}$ – давление газа на входе и выходе из образца, Па;
 μ – вязкость метана, Па·с ($\mu = 1,08 \cdot 10^{-5}$ Па·с);
 β – коэффициент пропорциональности между давлением и плотностью газа метана, м²·с⁻² ($\beta = 1,395 \cdot 10^5$ м²·с⁻²);
 m_0 – масса одной молекулы метана, кг ($m_0 = 26,5 \cdot 10^{-27}$ кг);
 ΔP_{hc} – изменение давления газа в накопительном сосуде за время эксперимента, Па
 $(\Delta P_{hc} = P_a + P_{вых})$;
 P_a – атмосферное давление, Па ($P_a = 10^5$ Па);
 t_0 – продолжительность эксперимента, с.

Расчетное время выхода метана из выработанного пространства закрытых шахт на земную поверхность (t_p , с) определялось по формуле:

$$t_p = t_0 \cdot e^{\frac{K_0}{K}} \quad (3)$$

где K_0 – проницаемость ненагруженного образца, м².

Для определения изменения с глубиной величины коэффициента газопроницаемости горных пород, вмещающих угольные пласты, и времени формирования стационарного потока газа были выполнены лабораторные исследования и получены результаты по следующим образцам:

- 1) Песчаник с площадью поперечного сечения $S_{\sigma 1} = 40,95 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$;
- 2) Алевролит ($S_{\sigma 1} = 40,32 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$);
- 3) Аргиллит ($S_{\sigma 1} = 40,30 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$);
- 4) Известняк трещиноватый ($S_{\sigma 1} = 40,95 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$).

Образец трещиноватого известняка был выбран для сравнения газопроницаемости нарушенных и ненарушенных горных пород. В результате проведения экспериментальных исследований и расчетов по приведенным выше формулам, были построены графики зависимости газопроницаемости (рис.1) и времени фильтрации метана от глубины залегания горных пород (рис. 2).

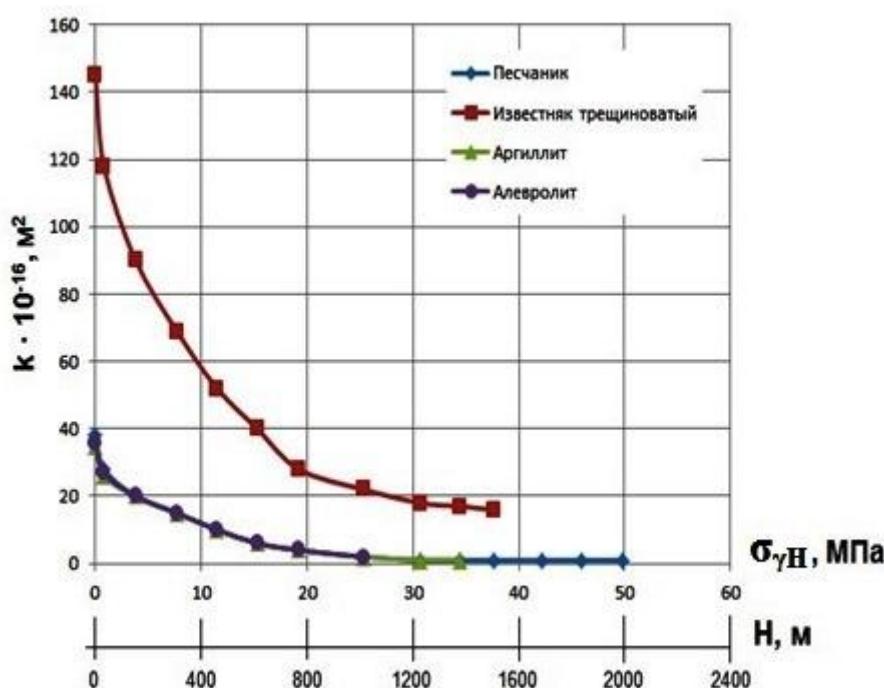


Рис. 1 – Сводный график зависимости газопроницаемости горных пород от глубины их залегания.

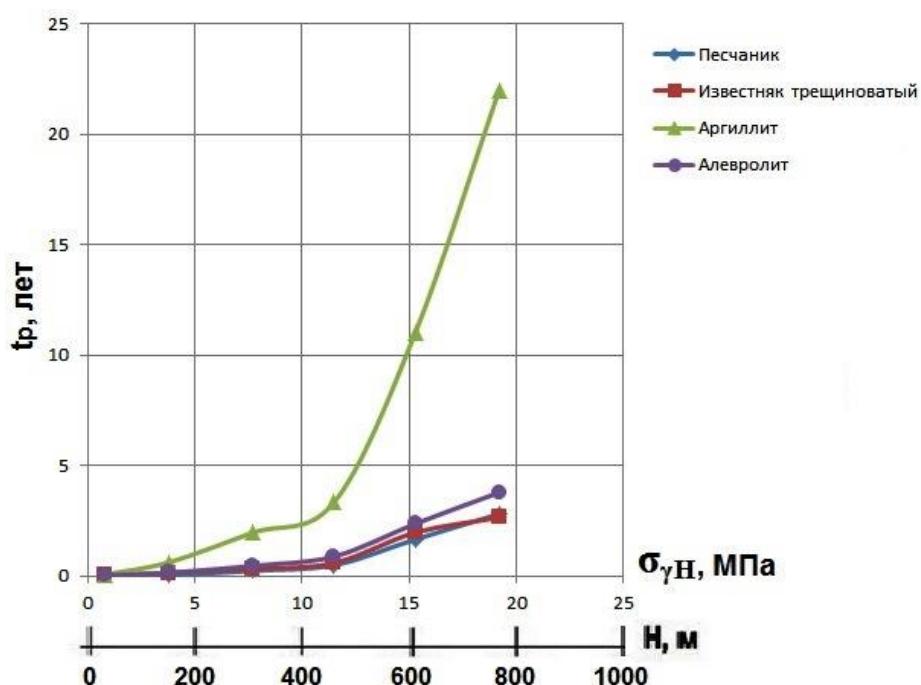


Рис. 2 – Сводный график зависимости времени фильтрации метана от глубины залегания горных пород.

Для расчета времени накопления опасных концентраций метана (t_h , с) в непроветриваемых помещениях, расположенных на территории горных отводов закрытых шахт, было использовано следующее выражение:

$$t_h = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\gamma \cdot L^2 \cdot C^2 \cdot \mu}{Q^2 \cdot K \cdot P_{bx} \cdot v} \quad (4)$$

где γ – пористость горных пород ($\gamma = 0,1$);

L – высота помещения, м;

C – взрывоопасная концентрация метана в воздухе ($C = 5\% = 0,05$);

μ – вязкость метана, Па·с ($\mu = 1,08 \cdot 10^{-5}$ Па·с);

Q – условная метаноемкость породы, $\text{м}^3/\text{м}^3$ ($Q = 0,03 \text{ м}^3/\text{м}^3$);

v – растворимость метана в породе, $\text{м}^3/\text{м}^3$ ($v = 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$).

В качестве примера были выполнены аналитические расчеты времени фильтрации метана из выработанного пространства к земной поверхности с глубины $H = 700$ м и времени накопления опасной концентрации ($C = 0,05$) в помещении высотой $L = 3$ м.

Для глубины 700 м ($\sigma_1 = 17,7$ МПа) среднее время фильтрации (t_p^{cp} , с) по ненарушенным горным породам составляет 7,28 лет, а по нарушенным породам – 2,31 года.

Среднее время накопления (t_h^{cp} , с) опасной концентрации ($C = 0,05$) в помещении при фильтрации метана по ненарушенным породам составляет:

$$t_{\text{H}}^{\text{cp}} = \frac{3,14}{4} \cdot \frac{0,1 \cdot 3^2 \cdot 0,05^2 \cdot 1,08 \cdot 10^{-5}}{(\frac{1,39+1,37+1,22}{3} \cdot 10^{-16}) \cdot 300 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3}} = 531,47 \cdot 10^6 \text{с} = 16,85 \text{ лет}$$

по нарушенным породам (t_{H}^{H} , с):

$$t_{\text{H}}^{\text{H}} = \frac{3,14}{4} \cdot \frac{0,1 \cdot 3^2 \cdot 0,05^2 \cdot 1,08 \cdot 10^{-5}}{13,01 \cdot 10^{-16} \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3}} = 163 \cdot 10^6 \text{с} = 5,17 \text{ лет}$$

Выполненные аналитические расчеты не противоречат данным, приведенным в работе [3].

Список литературы

1. Алексеев А. Д., Ревва В. Н., Рязанцев Н. А. / А.Д. Алексеев // Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений. – Киев: Наукова думка, 1989. – 168 с.
2. Алексеев А.Д. / А.Д. Алексеев // Физика угля и горных пород. - Киев: Наукова думка, 2010. – 426 с.
3. Защита зданий от проникновения метана / Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 2001. – 61 с.