

УДК 622.324

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

В.С.Портнов, д.т.н., профессор, кафедры ГРМПИ

А.А. Кенетаева м.т. н., преподаватель, кафедры ГРМПИ

КарГТУ, г.Караганда, Казахстан

Key words: gas migration, gas-dynamic processes, gas permeability of rocks, gas pressure, stages of metamorphism

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАНА В УГОЛЬНОМ МАССИВЕ

Распределение метана в угленосной толще подчиняется закономерностям газовой статики, которые отражают изменение газоносности горного массива от его пористости, газового давления, температуры, естественной влажности, газопроницаемости, стадии метаморфизма и других факторов.

В ненарушенном горными работами массиве происходит миграция газа, однако, газодинамические процессы здесь соизмеримы с геологическими периодами, поэтому при расчетах их не учитывают. В массиве содержатся газы воздушного происхождения (углекислый газ, азот, инертные и др.), которые проникают в недра с земной поверхности, и газы метаморфизма угля и пород (метан, водород, сероводород, гомологи метана и др.), движущиеся из толщи к земной поверхности. В результате диффузионного движения газов в различных направлениях в толще образуются азотно-углекислотная, азотная, азотно-метановая и метановая зоны. Первые три зоны образуют область газового выветривания, которая граничит с метановой зоной, где содержание метана превышает 80 % и давление его выше 0,1 - 0,15 МПа.

Основными факторами, определяющими газоносность угленосной толщи, является сорбционная емкость, газовое давление и газопроницаемость [1,2]. Сорбционная емкость угленосных толщ, согласно [3], определяется

первичной газоносностью:

$$x = x_{cp} + x_{св} = \frac{abP}{1 + aP} + \frac{m_n P}{kP_1}, \quad (1.1)$$

где x_{cp} , $x_{св}$ - соответственно количество сорбированного и свободного газа;

a , b - константы сорбции;

P , P_1 - давление газа в толще и на земной поверхности;

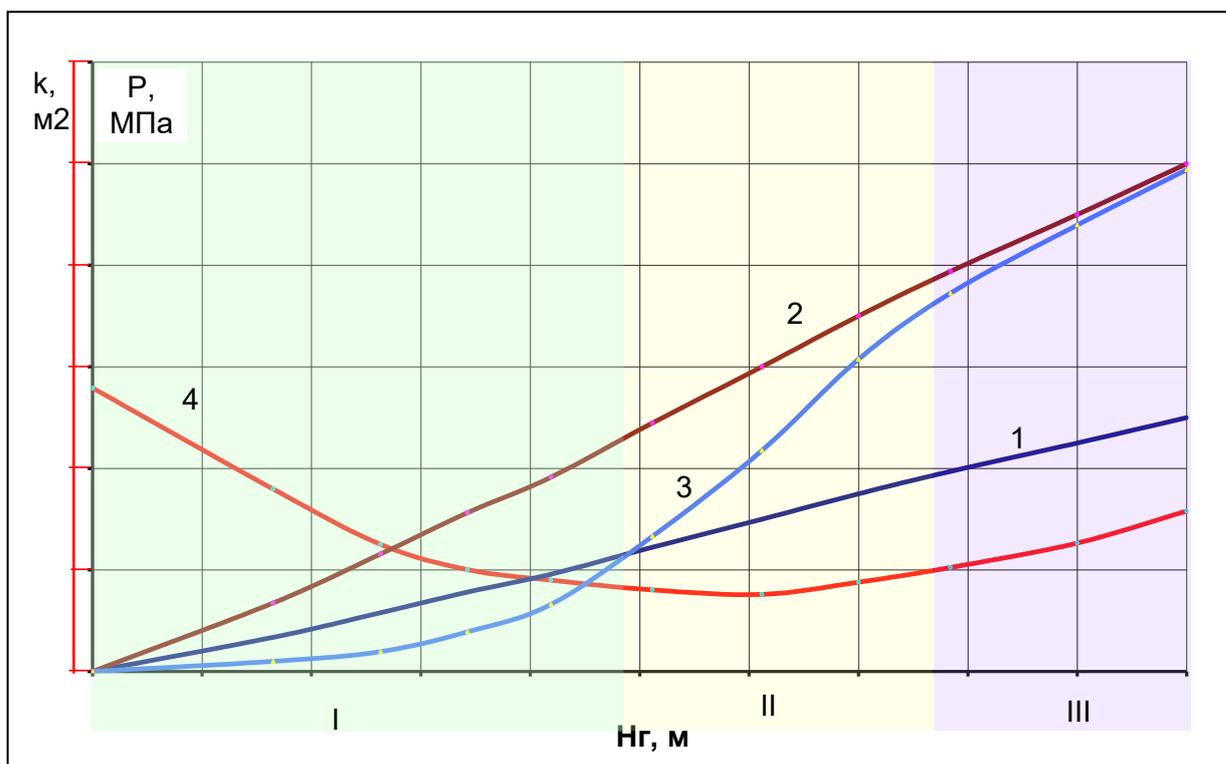
m_n - пористость;

k - коэффициент сжимаемости газа.

Основными свойствами системы «уголь-газ-жидкость» являются ее структура и сорбционная поверхность. Эти свойства определяются размером частиц угля и пород, различающихся между собой по величине от 10^{-1} до 10^{-7} см. Сорбционная поверхность угля определяется молекулярными и коллоидными системами с размерами частиц 10^{-5} и 10^{-6} см. К ним примыкают грубодисперсные системы с размерами частиц 10^{-1} - 10^{-4} см и атомные системы с размерами частиц менее 10^{-6} см. Чем выше пористость угля и пород, тем больше газа они содержат. Сорбционная газоемкость массива в значительной степени зависит от его влажности, которая уменьшает пористость и величину газовыделения. Она зависит также от газового давления, которое растет с глубиной. По глубине толщ различают три пояса с различными величинами и характером изменения газового давления (рисунок 1.1).

В первом поясе давление газа приближается к гидростатическому. Во втором поясе, который находится в верхней части метановой зоны, давление газа становится выше гидростатического, но остается ниже статического давления пород.

Третий пояс располагается в наиболее глубокой части метановой зоны, где давление газа приближается к статическому давлению пород.



1-гидростатическое давление;

2-статическое давление горных пород;

3-давление метана в угольных пластах;

4-газопровоницаемость угольных пластов;

I, II, III-зоны изменения давления и газопровоницаемости.

Рисунок 1.1 - График зависимости газопровоницаемости k угольных пластов и газового давления P от глубины горных работ H_g .

Закономерность изменения газового давления с глубиной рассчитывается по формуле Г. Д. Лидина [1]:

$$P = B \cdot (H_1 - H_0)^{\nu} + P_0 \quad (1.2)$$

где H_1 - глубина замера давления;

H_0 - глубина верхней границы метановой зоны;

B, ν - эмпирические коэффициенты.

Расчеты показывают, что величина газового давления на достигнутых глубинах в угольных бассейнах стран СНГ составляет 3 - 5 МПа, а в некоторых случаях достигает 12 МПа и более. Действительно, данные экспериментальных работ по измерению газового давления в пласте Д₆

Карагандинского бассейна на глубине 450 - 500м показали, что его величина колеблется в пределах 2 – 3,5МПа.

Газоносность угленосной толщи определяется и естественной газопроницаемостью, которая зависит от условий залегания пластов, степени обнажения толщи и длительности циклов эрозии. Различают три пояса изменения естественной газопроницаемости толщи по глубине (рисунок 1.1).

Газопроницаемость пород верхнего пояса повышается по мере приближения к земной поверхности. Так как во втором поясе газовое давление ниже статического давления пород, то газопроницаемость толщи здесь понижена. По мере увеличения газового давления в третьем поясе газопроницаемость толщи вновь возрастает за счет статического давления пород.

Между пластовым давлением и газопроницаемостью существует количественная связь, выражаемая формулой (1.3)

$$k = k_0 e^{-bP}, \quad (1.3)$$

где k_0 - начальная газопроницаемость;

b – коэффициент;

e - основание натуральных логарифмов.

Газопроницаемость углей основных бассейнов стран СНГ, изменяющаяся в пределах от $(0,4 \div 10) \times 10^{-15}$ м², в 3-5 раз выше газопроницаемости пород. Газопроницаемость пласта К₁₈ Карагандинского угольного бассейна на глубинах 400-500м изменяется в пределах $0,6 - 0,9 \cdot 10^{-2}$ мД [4].

Рассмотренные факторы определяют закономерности распределения газа в толще угольных месторождений. Так, в Кузбассе глубина зоны газового выветривания составляет 50-180 м, в Донбассе – 50 - 500 м, в Кизеловском и Челябинском бассейнах – 300 - 600м, в Печорском, Карагандинском и Тунгусском бассейнах, на месторождениях Суганском, о. Сахалина и Кавказе 50 - 230 м. На достигнутых глубинах газоносность

угольных пластов достигает 25 - 30 м³/т, а газоносность пород 4 - 6 м³/т [5, 2].

Исследованиями последних лет установлено, что изменение газоносности угля, пород и газопроницаемости с глубиной происходит не беспредельно. Так, в Донбассе на глубине 300 м газоносность углей достигает максимума. После этого она уменьшается. В Карагандинском бассейне максимальная газоносность наблюдается на глубине 500 м. Уменьшение газоносности с глубиной объясняется снижением сорбционной емкости толщи с ростом температуры пород, однако на этих глубинах газоносность составляет десятки кубометров газа на 1 т угля.

Приведенные выше данные показывают, что на распределение газа в угленосной толще оказывает влияние ряд факторов, из которых главными являются газовое давление и газопроницаемость.

Перенос газа в угленосной толще определяется закономерностями газовой динамики. Движение газа в горном массиве происходит в виде диффузии и фильтрации. В настоящее время имеется несколько классификаций видов переноса газов и жидкостей в горном массиве (например, классификации ИГД им. А.А. Скочинского и МГГУ [6])

Диффузия газа в пористой среде делится на 4 вида. В микропорах, размеры которых составляют менее 10^{-7} см, наблюдается абсорбция и адсорбция газа массивом, т. е. молекулярная (цеолитовая) диффузия. Скорость переноса молекул при молекулярной диффузии зависит от сил отталкивания. Этот вид диффузии характеризуется тем, что в данном случае нет границы между газом и твердым телом.

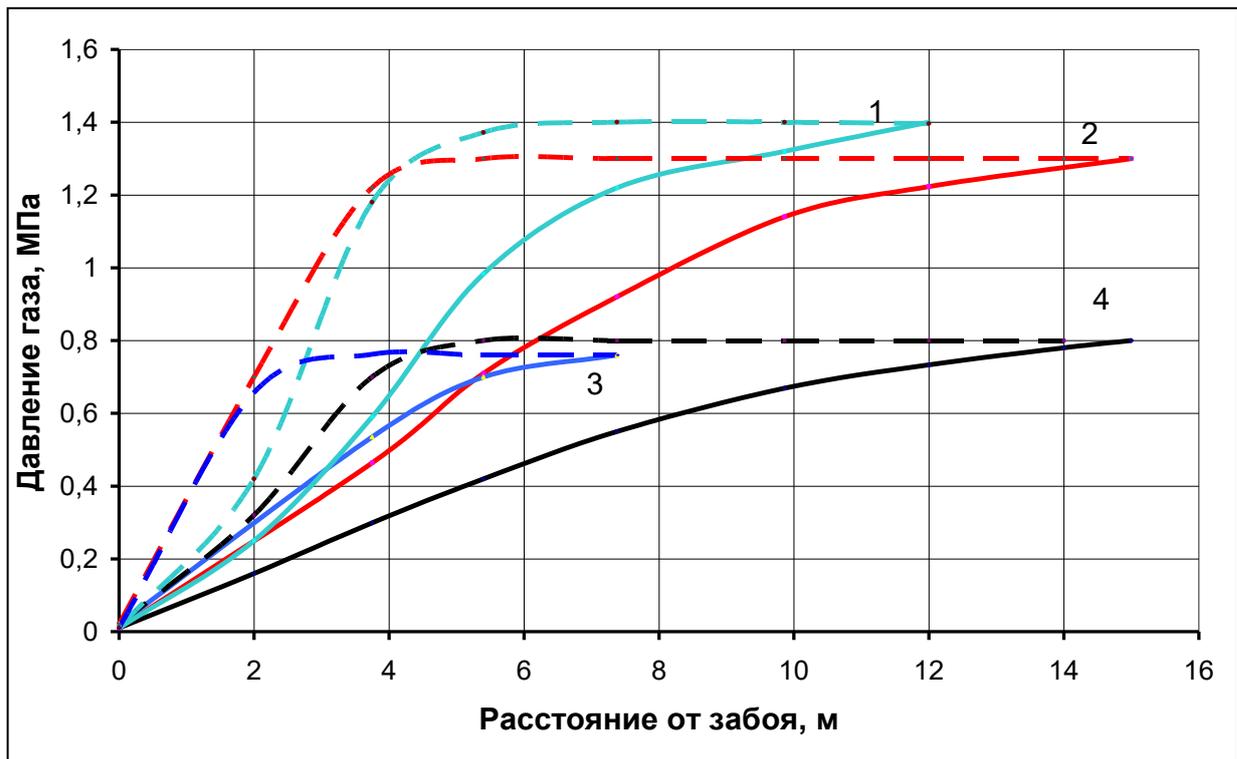
С увеличением размеров пор до 10^{-7} - 10^{-6} см наблюдается двухмерная или поверхностная (фольмеровская) диффузия или капиллярная конденсация. Последняя характеризуется движением молекул в адсорбционных слоях за счет температуры концентрации газа. При диффузии через переходные поры размером 10^{-6} - 10^{-5} см перенос газа подчиняется кнудсеновской диффузии. При этом движении число соударений молекул со стенками капилляров

начинает преобладать над соударениями между молекулами. В порах размером свыше 10^{-5} см имеет место свободная диффузия газа (вязкое течение), т.е. диффузия и медленная ламинарная фильтрация. При увеличении размеров пор до 10^{-4} - 10^{-2} см начинает проявляться интенсивная фильтрация газа, которая при порах размером более $2 \cdot 10^{-2}$ см переходит в смешанную ламинарно- турбулентную фильтрацию. При порах размером более 10^{-1} см режим движения газа становится турбулентным.

Исследования показали, что скорость движения метана на границе стока его с поверхности обнажения угольного пласта при изменении глубины изменяется в пределах $2 \cdot 10^{-5}$ - $5 \cdot 10^{-5}$ см/с, а режим движения газа является ламинарным. Установлено, что скорость движения воздуха через пенопласт находится в пределах $2 \cdot 10^{-4}$ - $2 \cdot 10^{-2}$ см/с. при линейном и нелинейном режимах фильтрации. Аналогичные результаты получены при исследовании скорости движения газа в газоносной толще пород. Однако режим движения газа в газоносной толще пород не всегда ламинарный, о чем свидетельствует наличие трех поясов изменения газового давления и газопроницаемости по глубине. Для расчета газовыделения из угольного пласта необходимо знать начальное газовое давление и закономерность его изменения под влиянием горных работ. Исследованиями установлено, что при переходе в зону повышенных статических напряжений кривая газового давления выполаживается и меняет направление с выпуклости на вогнутость. На основе этого подобрана эмпирическая функция, описывающая характер изменения газового давления в угольном пласте, удовлетворяющая краевым условиям и удовлетворительно аппроксимирующая решения, полученные аналитическими методами, а также допускающая дифференцирование по переменным x и t , согласующаяся с экспериментально полученными кривыми распределения давления газа. Для этих условий газовое давление в угольном пласте за период времени с момента его обнажения и до стабилизации напряженно-деформированного состояния можно определить по формуле (1.4):

$$P_x = P_0 + (P_1 - P_0) \cdot e^{-\frac{x^2}{2l^2(t)}}, \quad (1.4)$$

где P_x, P_0 – соответственное давление газа на любом расстоянии от обнаженной поверхности пласта и начальное давление в пласте, МПа;
 P_1 - давление газа на обнаженной поверхности пласта, МПа;
 x – расстояние до поверхности пласта, м;
 $l(t)$ - глубина зоны разгрузки пласта, м.



Исследованиями установлено, что расчетные значения давления газа в угольном пласте в зоне влияния очистных работ, определенные по формуле (1.4.), имеют незначительное расхождение с данными, определенными экспериментальным путем (рисунок 1.2).

Рисунок 1.2 - График зависимости давления газа P в разрабатываемом угольном пласте от расстояния x до забоя с учетом реологических свойств пород (сплошные линии – для момента обнажения пласта, пунктирные – для момента затухания деформаций)

высокопроизводительными очистными забоями нагрузками более 2000т/сут, наблюдается значительное отставание подготовительных работ от очистных.

Эффективность проводимых дегазационных мероприятий по угольным пластам как правило обуславливается газовым состоянием угольного массива (давлением, температурой газа и газоносностью), газоотдающей способностью, газоемкостью и др.), строением угля, технологией ведения горных работ и экономической целесообразностью.

В результате время для предварительной дегазации пласта сокращается и в результате можно столкнуться с простоями по газу. Кроме того, зачастую с увеличением глубины горных работ естественная скорость газовыделения в дегазационные скважины не обеспечивает требуемого уровня извлечения газа из пласта. Причинами этого является низкая природная фильтрационная и диффузионная проницаемость, высокая газоемкость и низкая (по сравнению с газовыми коллекторами) пористость угля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Газобильность каменноугольных шахт СССР. Эффективные способы искусственной дегазации угольных пластов на больших глубинах /Под редакцией проф. Г.Д. Лидина. – М.: Наука, 1987. - 198 с.
2. В.А. Колмаков. Метановыделение и борьба с ним в шахтах. -М.: Недра, 1981. - 236с.
3. Ситников Р.С. Совершенствование способов дегазации подземным способом при проведении горных выработок: дисс. магистра наук: 6М070700 «Горное дело» - Караганда, 2014. – 104 с.
4. Проблемы разработки метаноносных угольных пластов, промышленного извлечения и использования шахтного метана в Карагандинском бассейне// Изд-во Академии горных наук России. Под редакцией А.Т. Айруни. М.: 2002. – 346с.
5. Айруни А.Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах // М.: Недра, 1981. - 332с.
6. Зенкович Л.М. Природная газопроницаемость и удельная интенсивность газоотдачи рабочих угольных пластов основных месторождений СССР// Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. 1976. №17. - С.10-11.