

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА В УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ

В. В. Погула

В статье представлены модели газовой выделенности метана из угольных пластов. Рассматривается модель газа в гидратной фазе. Рассматривается вопрос о пористости углей и связанных с ней физическими явлениями. Представлена модель трещиновато-пористой структуры угля. Рассмотрено трехфазное состояние газа в угольном пласте.

Article presents the models of methane release out of coal layers. The subject of the gas model in hydrated environment is considered. The article concerns such questions as coal porosity and the physical phenomena connected with it, the model of coal's pore-fractured structure. The three-phase condition of gas in coal layer is examined.

Ключевые слова: математическое моделирование, метановыделение, угольный пласт, структура угля.

В связи с повышением объемов добычи угля в сложных горно-геологических условиях возникла необходимость прогноза параметров газодинамических процессов, проходящих в углепородном массиве. Одним из путей решения этой проблемы является применение современных методов моделирования. Разработанные ранее модели не учитывали многих факторов, например взаимосвязь между газокинетическими и газомеханическими процессами [1].

Согласно [3, 4, 6], газовой выделенности на выемочном участке происходит из разрабатываемых угольных пластов, пластов-спутников и вмещающих пород. Из разрабатываемого пласта газ выделяется из обнаженных поверхностей и во время транспортирования горной массы по горным выработкам. Из спутников и вмещающих пород газ метан выделяется по трещинам, образующимся вследствие сдвижения горного массива.

Анализ источников газовой выделенности показывает, что существенный вклад в газовую обстановку угольных предприятий вносят пласты-спутники. Газовой выделенности из них значительно превышает выделенности метана из разрабатываемых пластов и увеличивается при обрушении пород кровли и пучении пород почвы.

При ведении горных работ применяются различные способы уменьшения газовой выделенности из углепородных массивов в горные выработки, в том числе: увлажнение угольных пластов; дегазация угольных пластов дегазационными скважинами, пробуренными с земной поверхности; гидрорыхление угольных пластов; использование вентиляции шахт; использование автоматических систем контроля параметров шахтной атмосферы «Микон 1Р» (контролирует содержание метана в выработках) и «АКВ» (контроль расхода воздуха).

Рассмотренные системы контроля рудничной атмосферы позволяют контролировать, но не прогнозировать текущую газодинамическую обстановку в горных выработках.

В углегазовой среде за счет внутренней энергии происходит саморазрушение [2]. Динамическому саморазрушению пласта предшествуют закономерные изменения свойств исследуемой среды при ведении горных работ. Рассматривать газовой выделенности из пластов необходимо в виде логического ряда, где сложные процессы рассматриваются как состоящие из более простых процессов.

В ранних математических моделях рассматриваются неоднородные слоистые среды, состоящие из угольных и породных пластов. Процесс движения метана в угольных и породных пластах представлялся в виде модели, основанной на положениях, представленных А. А. Мясниковым [5]:

- дегазация каждого слоя среды происходит за счет ламинарного течения метана в свободной фазе по открытым порам и трещинам, непосредственно связанным между собой и горной выработкой, под действием градиента давления;

- перенос метана из элементарных частиц угля в ограничивающие открытые поры и трещины осуществляется путем диффузии;

- метан в этих частицах в угольных пластах находится в сорбированном состоянии, а в породных – в свободном состоянии;

- элементарные частицы не деформируемы;

- изменение пористости угля и пород под действием горного давления может происходить за счет сжатия и расширения эндогенных пор трещин.

Практически все известные модели не дают приемлимые результаты, вследствие чего на практике применяются эмпирические и аналоговые методы прогноза газовой выделенности в горные выработки [1].

Причины такого явления заключаются в недостаточном соответствии математической модели реальным процессам, протекающим в угольных массивах.

Для устранения этого недостатка использовались гипотезы А. Т. Айруни, А. А. Мясникова, В. И. Мурашева [9]. Основное положение, выдвинутое этими авторами, заключается в том, что между газосодержанием угля в природных условиях и действующими в нем нормальными напряжениями существует связь.

Движение метана в угле необходимо рассматривать как сумму потоков свободного и сорбированного метана. Закон движения метана в этом случае выражается по формуле [8]:

$$pu = - \left[k_1 \frac{\partial p}{\partial n} + k_2 p \frac{\partial p}{\partial n} + k_3 \frac{p^2}{p} \frac{\partial p}{\partial n} + k_4 \frac{\partial M_a}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial n} \right], \quad (1)$$

где p – плотность газа в газовой фазе; u – скорость фильтрации газа; $\frac{\partial p}{\partial n}$ – градиент давления;

k_1, k_2, k_3, k_4 – коэффициенты, характеризующие свойства пористой среды и условия движения газа;

M_a – количество адсорбированного газа в единице объема; p_a – плотность газа в адсорбированной фазе.

Г. А. Беспятовым, В. Н. Вылегжаниным, С. С. Золотых [8] рассматривалась модель газа в гидратной фазе. Гидраты, образованные в мелкопористой среде, могли сохраниться в метастабильном состоянии при повышении температуры при интенсивных восходящих потоках газа из низлежащих горизонтов, как показано на рисунке 1.

Уравнение движение газа записывается [8]:

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left[r^{-a_i} \left(\frac{\partial H}{\partial x_i} \right)^{a_i} \right] + \omega_0 \sum_{i=1}^3 r^{-a_i} \left(\frac{\partial H}{\partial x_i} \right)^{a_i} - q = 0. \quad (2)$$

В соответствии с современными представлениями о природном угле [9] он является сложным продуктом длительного воздействия на растительные остатки биологических, химических и тектонических факторов в условиях больших давлений и температур. В этих условиях молекулы целлюлозы, из которых состоят растительные клетки, теряли часть заключенного в них водорода и кислорода за счет образования воды, метана и углекислого газа. Также при этом происходили процессы полимеризации и конденсации молекул с образованием циклических соединений со структурой, аналогичной высокомолекулярным соединениям.

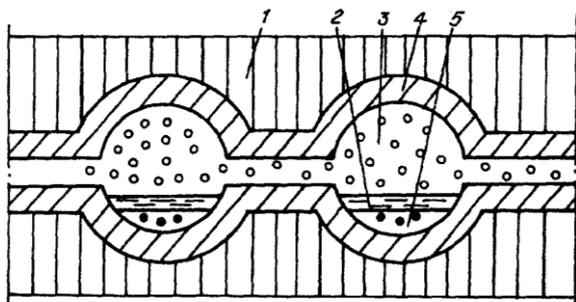


Рис. 1. Трехфазное состояние газа в порах угольного пласта [8]: 1 – уголь; 2 – вода; 3-5 – газ: 3 – свободный, 4 – сорбированный, 5 – гидратированный

На поверхности углеродного скелета сохраняются гидроксильные, карбоксильные, карбонильные и другие заряженные функциональные группы, называемые «бахрома», число которых уменьшается в процессе метаморфизма угля. Выделяют два вида метаморфизма угля: химический и физико-структурный. В первом виде основным фактором является температура, под действием которой сформировалась весьма сложная молекулярная конструкция углей. В физико-структурном метаморфизме действовали иные факторы: давление вышележащих пород и выход газообразных продуктов. Под их влиянием сформировалась дисперсная пористо-трещиноватая структура углей. Пустоты в структуре угольного вещества (поры и трещины) имеют несколько структурных порядков и подразделяются на группы с различными свойствами. Вопрос о пористости углей и связанных с ней физическими явлениями (в особенности сорбционных) имеет важное научное и практическое значение, поскольку касается проблем газоносности угольных пластов и явля-

ется определяющим при увлажнении их водными растворами.

Поры углей подразделяются на два класса [10, 9]: открытые – полости, или каналы, связанные с внешней поверхностью, и закрытые – полости, или каналы, не имеющие выхода на поверхность группы, называемые «бахрома», число которых уменьшается в процессе метаморфизма угля. Выделяют два вида метаморфизма угля: химический и физико-структурный. В первом виде основным фактором является температура, под действием которой сформировалась весьма сложная молекулярная конструкция углей. В физико-структурном метаморфизме действовали иные факторы: давление вышележащих пород и выход газообразных продуктов. Под их влиянием сформировалась дисперсная пористо-трещиноватая структура углей. Пустоты в структуре угольного вещества (поры и трещины) имеют несколько структурных порядков и подразделяются на группы с различными свойствами. Вопрос о пористости углей и связанных с ней физическими явлениями (в особенности сорбционных) имеет важное научное и практическое значение.

Поры углей подразделяются на два класса [10, 9]: открытые – полости, или каналы, связанные с внешней поверхностью, и закрытые – полости, или каналы, не имеющие выхода на поверхность.

На рисунке 2 приведена модель пористо-трещиноватой структуры угольной частицы (без соблюдения масштаба).

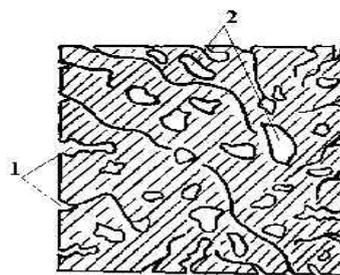


Рис. 2. Модель пористо-трещиноватой структуры угля: 1 – трещины и открытые поры, 2 – закрытые поры

В данной статье рассмотрены основные модели газовыделения метана из угольных пластов. Рассмотрена модель трещиновато-пористой структуры угля. Данная работа является основой для создания пространственной модели фильтрации газа при напряженно-деформированном состоянии углепородного массива при ведении горнодобывающих работ.

Литература

1. Преслер, В. Т. Информационно-математическая среда прогноза газопроявлений в угольных шахтах [Текст] / В. Т. Преслер. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2000. – 228 с.
2. Малышев, Ю. Н. Методы прогноза и способы предотвращения выбросов газа, угля и породы [Текст] / Ю. Н. Малышев, А. Т. Айруни, Ю. Л. Худин, М. И. Большинский. – М.: Недра, 1995. – 352 с.

3. Колмаков, В. А. Метановыделение и борьба с ним в шахтах [Текст] / В. А. Колмаков. – М.: Недра, 1981. – 134 с.
4. Мореев, А. Т. Дегазация сближенных пластов [Текст] / А. Т. Мореев, И. И. Евсеев. – М.: Недра, 1975. – 168 с.
5. Мясников, А. А. Применение ЭВМ для решения задач управления метановыделением в шахтах [Текст] / А. А. Мясников, В. П. Садохин, Т. С. Жирнова. – М.: Недра, 1977. – 248 с.
6. Ванжа, Ю. П. Прогноз газовой выделения и управление газопылевоздушной средой в шахтах [Текст] / Ю. П. Ванжа. – Томск: Изд-во Томск. ун-та. – 147с.
7. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов [Текст] / Л. Сегерлинд. – М.: Мир.
8. Беспятов, Г. А. Синергетика выбросообразной горной среды [Текст] / Г. А. Беспятов, В. Н. Вылегжанин, С. С. Золотых. – Новосибирск: Наука, 1996. – 191 с.
9. Алексеев, А. Д. Радиофизика в угольной промышленности [Текст] / А. Д. Алексеев, В. Е. Зайденварг. – М.: Недра, 1992. – 184 с.
10. Морозов, Н. Ф. Снижение газовой выделения в угольных шахтах [Текст] / Н. Ф. Морозов, В. К. Тарасенко. – К.: Техника, 1972. – 160 с.