

О ПРИРОДЕ ПАРАМАГНЕТИЗМА В УГОЛЬНОМ ВЕЩЕСТВЕ С ПОЗИЦИИ ВНУТРЕННЕГО САМОСОГЛАСОВАННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В роботі пропонується застосувати метод внутрішнього самоузгодженого магнітного поля при вивченні парамагнітних явищ у вугіллі.

ABOUT NATURE PARAMAGNETISM IN COAL SUBSTANCE WITH POSITION THE INSIDE OF THE SELF-COORDINATED MAGNETIC FIELD

In work it is offered to use a method the inside of the self-coordinated magnetic field at study paramagnetic of the phenomena in coal layers.

Исследование явления парамагнитного резонанса в углях представляет большой интерес с точки зрения изучения их строения на атомно-молекулярном уровне. Однако, несмотря на большое количество работ по изучению парамагнетизма углей, до настоящего времени нет полной ясности в природе сигналов электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) для петрографических разностей ископаемых углей в полном ряду метаморфизма [1].

В этой связи для изучения парамагнитных свойств углей предлагается использовать метод внутреннего самосогласованного магнитного поля. Одним из вариантов использования этого метода может быть подход, основанный на приближении, предложенном Вейссом [2]. В этом случае, если к системе приложено внешнее магнитное поле, то каждый атом оказывается в поле, состоящем из внешнего и обменного полей взаимодействия с соседними атомами. Поле обменного взаимодействия является флуктуирующим полем. Подход Вейсса основан на том, что это поле заменяется некоторым средним магнитным полем \vec{H}_B и по сути представляет собой внутреннее самосогласованное поле или поле Вейсса. Таким образом, на спин действует эффективное магнитное поле:

$$\vec{H}_{эфф.} = \vec{H} + \vec{H}_B. \quad (1)$$

В случае исследования структуры угольного вещества методами ЭПР, внешнее магнитное поле \vec{H} представляет собой сумму постоянного поля \vec{H}_p и переменного \vec{H}' .

В угольном веществе при отсутствии внешнего магнитного поля парамагнитные центры расположены хаотично, но таким образом, что система спинов не обладает намагниченностью ($\vec{H}_B = 0$).

В приближении Вейсса можно предположить, что:

$$\vec{H}_B = q\vec{M}. \quad (2)$$

Это означает, что, среднее молекулярное поле пропорционально намагниченности. В равенстве (2) величина q является константой молекулярного поля. Для эффективного поля $\vec{H}_{эфф.}$ определяемого соотношением (1) средний магнитный момент в направлении $\vec{H}_{эфф.}$ описывается выражением [3]:

$$\bar{\mu} = \mu_0 th \frac{\mu_0 H_{эфф.}}{kT}.$$

Намагниченность образца угольного вещества зависит от количества парамагнитных центров. Если число этих центров в единице объема равно n , то намагниченность M в соответствии с (1) и (2) будет равна:

$$M = n\bar{\mu} = n\mu_0 th \left\{ \frac{\mu_0}{kt} (\vec{H} + q\vec{M}) \right\}, \quad (3)$$

где μ_0 - значение магнитного момента единичного парамагнитного центра.

Выражение (3) является самосогласованным уравнением для определения \vec{H} .

Предположим, что число соседних спинов, каждый из которых принадлежит парамагнитному центру и расположенных вокруг данного парамагнитного центра, равно N , а \bar{N}_+ - среднее число парамагнитных центров со спинами, направленными вверх и \bar{N}_- - среднее число ПМЦ со спинами вниз. Тогда имеем:

$$\bar{N}_+ - \bar{N}_- = N \frac{M}{M_\infty},$$

где $M_\infty = n\mu_0$.

$\frac{\bar{N}_+}{N}$ и $\frac{\bar{N}_-}{N}$ - доля ПМЦ, со спинами направленными соответственно вверх и вниз.

Положим теперь:

$$\mu_0 H_{эфф.} = \alpha (\bar{N}_+ - \bar{N}_-) = N\alpha \frac{M}{M_\infty}, \quad (4)$$

где α - коэффициент пропорциональности, характеризующий ПМЦ данного образца угля. Из выражений (2) и (4) следует, что константа молекулярного взаимодействия q равна:

$$q = \frac{N\alpha}{\mu_0 M_\infty}.$$

Тогда соотношение (3) можно записать в виде:

$$\frac{M}{M_{\infty}} = th \left(\frac{\mu_0 H}{kT} + \frac{N\alpha M}{kTM_{\infty}} \right)$$

Если внешнее поле отсутствует ($\vec{H} = \vec{H}_0 + \vec{H}' = 0$), то спонтанная намагниченность для исследуемого образца угольного вещества $M_S(T)$ будет определяться из уравнения:

$$\tau = th \left(\frac{N\alpha}{kT} \tau \right),$$

где $\tau = \frac{M_S}{M_{\infty}}$.

Это значит, что $\tau(T) = \frac{M_S(T)}{M_{\infty}}$ можно определить, находя точку пересечения графиков двух функций (рис.1), определяемых равенствами:

$$\Omega = th \tau \quad \text{и} \quad \Omega = \frac{kT}{N\alpha} = \frac{T}{T_c} \tau,$$

где $T_c = \frac{N\alpha}{k}$ - критическая температура, характеризующая степень упорядоченности ПМЦ в исследуемом образце угольного вещества и M_S - намагниченность насыщения, а M_{∞} - ее величина при 0°К.

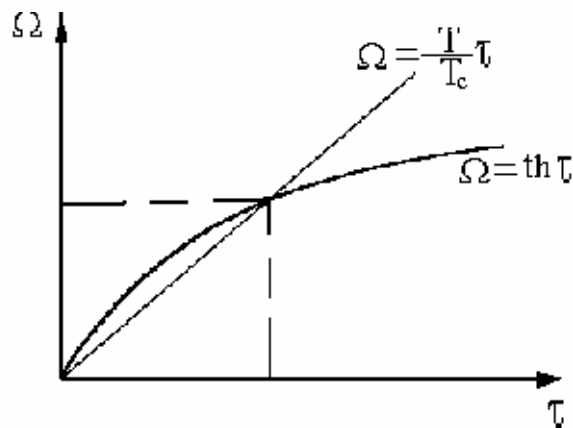


Рис 1. – Схема определения параметра τ , в зависимости от температуры исследуемого образца угля.

Таким образом, в определении намагниченности угольного вещества определяющими факторами являются значения N и α . В данном случае N - это количество парамагнитных центров вокруг одного, произвольно выбранного ПМЦ. При этом не имеет значения как направлены спины этих ПМЦ. Иначе го-

воря, можно отождествить N с величиной концентрации парамагнитных центров n в исследуемом образце.

Это предположение имеет смысл по причине того, что химические соединения углерода предполагают наличие неспаренных электронов, определяющих парамагнитные свойства вещества, а увеличение степени обуглероживания ведет к повышению концентрации этих электронов до момента перестройки угольного вещества в кристаллическую структуру, уже не обнаруживающую парамагнитные свойства [4]. Это означает, что существует корреляция между количеством парамагнитных центров в образце угольного вещества и его степенью обуглероживания. При определении степени намагниченности угольного вещества, учет влияния параметров N и α вводится через определения такого параметра как критическая температура:

$$T_c = \frac{N\alpha}{k}.$$

При этом следует отметить, что количество парамагнитных центров вокруг выделенного молекулярного образования можно определить статистическими методами. Этот подход заключается в использовании метода молекулярного поля, определяющего количество парамагнитных центров.

Наличие взаимодействия между угольным веществом, в конечном счете, должно привести к возникновению в системе определенного упорядочения. В силу того, что рассматриваемая нами система угольного вещества по своей сути является парамагнитной, то упорядочение в ней разрушается с повышением температуры образца. Физически это означает, что для свободной энергии определяющим фактором, при увеличении температуры образца, является энтропия системы. Выражение для энтропии имеет вид [5]:

$$S = kN \left\{ \frac{1}{2} (1+R) \ln \frac{1}{2} (1+R) + \frac{1}{2} (1-R) \ln \frac{1}{2} (1-R) \right\},$$

где параметр R определяется из условий:

$$\frac{N_+}{N} = \frac{1}{2} (1+R) \mu \quad \frac{N_-}{N} = \frac{1}{2} (1-R).$$

Тогда свободная энергия примет значение [5,6]:

$$F = E - TS = -\frac{1}{2} N^2 \alpha R^2 + NkT \left\{ \frac{1}{2} (1+R) \ln \frac{1}{2} (1+R) + \frac{1}{2} (1-R) \ln \frac{1}{2} (1-R) \right\}. \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что второе слагаемое является определяющим для значения свободной энергии угля, при повышении его температуры T .

Приведенное теоретическое рассмотрение парамагнитных свойств угольного вещества, позволяет сделать вывод о том, что в ходе процессов, происходящих на различных стадиях метаморфизма углей формируется их структура, подчиняющаяся законам поведения системы с взаимодействием между сформировавшимися парамагнитными центрами и самосогласованным молекулярным полем. Наличие этого поля определяется характером внешнего воздействия на уголь (в данном случае внешнего магнитного поля), что приводит к возникновению внутреннего эффективного поля.

Наличие эффективного поля в свою очередь определяет степень упорядочения парамагнитных центров и соответственно величину намагниченности образца, зависящую от константы молекулярного взаимодействия q и количества парамагнитных центров N . При этом не имеет значения как направлены спины по отношению к внешнему полю. Внешнее поле определяет эффективное поле в угле, а оно в свою очередь и формирует упорядоченную структуру. При этом мы считаем, что парамагнитные центры и являются теми структурными единицами, подобно атомам в узлах кристаллической решетки, которые определяют степень упорядоченности вещества и соответственно его структуру. Это предположение основывается на том, что угольное вещество состоит из большого числа углеродных соединений с весьма неоднородным составом, а связывать парамагнетизм вещества с атомами в узлах решетки не имеет смысла.

Если рассматривать парамагнитные центры как центры, вокруг которых формируются структурные единицы, характерные для каждого вида угольного вещества, тогда это позволяет проследить динамику изменения состояния угольного вещества с позиции электронного парамагнитного резонанса. Метод ЭПР позволяет оценить степень изменения намагниченности вещества с позиций того, что сформировавшаяся структура угля определяет внутреннее молекулярное поле, которое определяет магнитные свойства угля и соответственно спектр ЭПР.

Каждая марка угольного вещества определяется своим значением константы молекулярного взаимодействия q , значением количества парамагнитных центров N , изменение числа которых фиксируется методом ЭПР. Это связано с изменением суммарного магнитного момента исследуемого образца угля и температуры в нем T . Эти параметры определяют значение величины τ , которая позволяет вычислить значение намагниченности угольного вещества, при разных T и q (см. рис. 1). Следовательно, определяющим фактором, характеризующим степень изменения структуры угля, является внутреннее молекулярное поле, возникающее в результате внешних воздействий, что приводит к изменению доли ПМЦ с различными направлениями магнитных моментов $\frac{N_+}{N}$ и $\frac{N_-}{N}$.

Изучение динамики указанных параметров, фиксируемой спектрами ЭПР, позволяет использовать выражение для оценки свободной энергии (5) и соответственно учитывать фактор температуры, влияющей на ход процессов происходящих в угле, при его метаморфических превращениях. Таким образом, использованный метод самосогласованного поля позволяет проследить динамику

изменения состояния угольного вещества по всему ряду метаморфизма, полагая, что определяющим фактором при исследованиях методом ЭПР является изменение концентрации ПМЦ угольного вещества, под влиянием внешних воздействий геодинамических, магнитных и тепловых полей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Еремин И.В., Лебедев В.В., Цикарев Д.А. Петрография и физические свойства углей.– М.: Недра, 1980.– 263с.
2. Давыдов А.С. Квантовая механика.– М.: Наука, 1963.– 325с.
3. Хуанг К. Статистическая механика.– М.: Мир, 1965.– 285с.
4. Саранчук В.И., Айруни А.Т., Ковалев К.Е. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля.– Киев: Наукова думка.– 1988.– 192с.
5. Уайт Р. Квантовая теория магнетизма.– М.: Мир.– 1985.–293с.
6. Альшутлер С.А., Козырев Б.М. Электронный парамагнитный резонанс.– М.: Физматгиз, 1961.– 239с.

УДК 622.831

Н.С. Кузьменко

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРЕПЛЕНИЯ НА ВЫВАЛООБРАЗОВАНИЕ ПОРОД

Приведені результати досліджень залежностей геомеханічних параметрів від технологічних в очисних вибоях з індивідуальним кріпленням, вказані заходи запобігання обрушень порід покрівлі.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SUPPORT PARAMETERS ON ROCK INRUSHES

The paper contains results of investigating dependences between geomechanical and technological parameters at stopes with individual support, and means of preventing support rock inrushes.

Одной из основных задач при разработке угольных месторождений является предотвращение обрушений и обвалов пород кровли, удельный вес травматизма от которых составляет 79,4% [1]. Для лав, оборудованных индивидуальной крепью характерным является наличие значительной непокрытой обнаженной кровли в бесстоечном призабойном пространстве как до прохода комбайна (над конвейером), так и на участке изгиба конвейера (>30,0 м²). В этих местах происходит наибольшее количество обрушений и имеет место значительный травматизм. В целом травматизм от обрушений горных пород в лавах с индивидуальной крепью в 12 раз выше, чем с механизированной [1]. Проявление вывалообразований, как правило, происходит в местах интенсивной нарушенности кровли в самых разнообразных формах [2]. На проявление трещинообразования значительное влияние оказывают технологические параметры применяемых схем крепления и управления кровлей, которые позволяют обеспечить ту или иную степень перекрытия кровли в бесстоечном призабойном пространстве и предотвратить вывалообразование.

Вопрос исследования закономерностей проявления вывалов и обрушений пород кровли в очистных забоях продолжает оставаться актуальным и требует