

ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА, ЗБАГАЧЕННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.333:537.32

В.В. Соболев¹, д-р техн. наук, проф.,
А.С. Баскевич², канд. физ.-мат. наук,
Н.В. Билан¹, канд. геол. наук,
А.О. Филиппов¹

1 – Государственное высшее учебное заведение
„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск,
Украина, e-mail: valeriyasobolev@rambler.ru
2 – Государственное высшее учебное заведение „Украинский
государственный химико-технологический университет“, г. Днепропетровск, Украина

УСТОЙЧИВОСТЬ НАНОСТРУКТУРЫ КАМЕННОГО УГЛЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

V.V. Sobolev¹, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
A.S. Baskevich², Cand. Sci. (Phys.-Math.),
N.V. Bilan¹, Cand. Sci. (Geol.), **A.O. Filippov¹**

1 – State Higher Educational Institution “National Mining University”,
Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: valeriyasobolev@rambler.ru
2 – State Higher Educational Institution “Ukrainian State University of
Chemical Engineering”, Dnepropetrovsk, Ukraine

RESISTANCE OF THE COAL NANOSTRUCTURE TO THE ELECTRIC CURRENT INFLUENCE

Показано, что при пропускании слабого электрического тока часть твердой фазы каменного угля превращается в газ. Предполагается, что основная доля подвижных компонентов образуется при разрушении углеродных и углеводородных цепочек. Данные исследований методами электронного парамагнитного резонанса, инфракрасной спектроскопии, рентгеноструктурного анализа подтверждают частичное превращение макромолекулы угля в газ. Приведено квантово-механическое решение задачи об устойчивости химических связей углеводородных цепочек.

Ключевые слова: *электрический ток, уголь, газ, квантовая механика, устойчивость, наноструктура*

Введение. Развитие энергосберегающих и экологически безопасных технологий переработки углей требует создания новых способов дестабилизации химических связей в компонентах угля. Поведение наноструктуры угля, особенно при одновременном воздействии двух и более физических параметров, характерных для природных процессов минералообразования (давление, температура, электрическое поле, магнитное поле, флюиды), не изучалось. Каждый из перечисленных параметров мог нарушить состояние равновесия в системе, инициировать развитие тех или иных химических процессов и сыграть ведущую роль в формировании химических и физико-технических характеристик угля.

В 50-е годы прошлого столетия в Институте физики Земли АН СССР М.П. Воларовичем с соавт. были проведены исследования устойчивости горных пород и угля при воздействии давления со сдвигом, цель которых состояла в имитации внезапных выбросов. Эксперименты свидетельствовали, что все горные породы и каменные угли в результате одновременного действия давления сжатия и деформаций сдвига имеют „взрывной“ характер разрушения. Отличия состояли только лишь в величине сжимающих напряжений. Недостаток экспериментов заключается в том, что авторы работ не фиксировали выделяющийся газ при разрушении углей. Позже сотрудниками МакНИИ (г. Макеевка, Донецкая

обл.) было показано на примере разрушения угля в шаровой мельнице, что выделение газа является интенсивным [1]. Анализ данных [2], полученных в исследованиях угля с применением электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и инфракрасной спектроскопии (ИКС), показал, что интенсивность полос инфракрасного поглощения, которые соответствуют кислородметиленовым и метиленовым мостиковым группам, связана корреляционной зависимостью с концентрацией парамагнитных центров (ПМЦ), зафиксированных в углях.

Исследованиями структурных и фазовых превращений в углях установлено [3], что в диапазоне температур 300-400 К, при прохождении слабого электрического тока, часть массы угля переходит в газ. Следовательно, образование и выделение газа главным образом связано с разрушением твердой фазы угля, при этом, причинами могут быть сложное деформирование или воздействие электрического поля, или действие двух этих факторов одновременно. Научный интерес представляют исследования влияния слабых электрических полей на фазовые переходы в углях. Этот интерес вызван тем, что в природе тектоническая активизация сопровождается не только сложным деформированием горных пород, но и увеличением значений напряженностей электрических и магнитных полей. Предполагается также, что переходы „уголь→газ“ при механических и электрофизических

воздействиях, по сути, являются идентичными и могут быть описаны единым физическим механизмом.

Таким образом, становится очевидной актуальность исследований кинетики зарождения и роста новых углеводородных и углеродных фаз, роли поверхности в химических реакциях, динамики изменения свойств органической массы угля в процессе углефикации, квантово-механических закономерностей, проявляющихся в процессе формирования компонентного состава органической массы угля при воздействиях физических полей различной природы.

Цель работы заключается в экспериментальном обосновании предположения о выделении газа за счет разрушения связей наноструктурных компонентов угля и в создании физико-математической модели, которая бы давала удовлетворительную оценку состоянию устойчивости химических связей в компонентах угля в случае электрофизических воздействий.

Материалы и методика. В экспериментальных исследованиях использован уголь шахты „им. А.Ф. Засядько“. Перед обработкой уголь измельчался в фарфоровой ступке; для проведения экспериментов выбрана фракция в диапазоне 100/160. Эксперименты проводились по методике, описанной в [4]. Разность потенциалов и величина тока задавались источником питания и составляли 150 В и 0,3 А соответственно. Время обработки каждого образца не превышало 4 ч. Рентгеноструктурные исследования углей проводились на установке ДРОН-3, электронный парамагнитный резонанс – на спектрометре ВИГТ.421.410.001 (Россия). Комплексные исследования физико-химических характеристик проводились в лабораториях ГП НПО „Павлоградский химический завод“ („ПХЗ“) с использованием следующего оборудования: прибора термогравиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии TGA/DSC 1 METTLER TOLEDO (Швейцария), оптического микроскопа LEICA DM ILM (Германия), лазерного дифракционного анализатора размеров частиц SHIMADZU SALD-301V (Япония) и калориметра С-2000 ИКА (Германия). Инфракрасные спектры углей сняты на ИК-Фурье спектрометре ФСМ-1201 (Россия) с пропусканием в спектральном диапазоне 400-5000 см⁻¹.

Экспериментальные результаты. Рентгенографические исследования показывают, что на всех дифрактограммах выделяются два сильно размытых максимума, которые соответствуют углам (2Θ): 25 и 43 град. Положение первого максимума меняется от образца к образцу незначительно, полуширина не меняется. Интенсивность линий образцов обработанного угля ниже, чем исходного. Это свидетельствует об увеличении степени аморфности обработанного угля. В области первого аморфного максимума расположены линии, значения которых равны (в Å): 4,55; 4,24; 4,03 – слабая линия; 3,71 и 3,38. В области второго аморфного максимума имеются особенности, которые можно считать линиями кристаллической фазы с $d = 1,99-2,00$ Å. Эта линия присутствует на всех образцах, но наиболее интенсивное ее проявление наблюдается в случае обра-

ботки угля в магнитном поле. Вторая по интенсивности линия графита имеет $d = 2,02$ Å. Анализ рентгеновских дифрактограмм однозначно свидетельствует об увеличении степени „аморфности“ углей после прохождения электрического тока.

Таким образом, в случае прохождения слабого электрического тока в углях протекают деструктивные процессы, сопровождающиеся увеличением содержания частиц минимального размера и незначительным расширением диапазона частиц наибольших размеров (рис. 1). Увеличение размера частиц после обработки можно объяснить объединением их за счет электростатических сил, действующих между заряженными поверхностями. Образование подвижных компонентов (радикалов, газа) происходит за счет деструктивных процессов, протекающих в твердых фазах угля. Дифрактограммы свидетельствуют об увеличении степени „аморфности“ наноструктуры, а по данным ЭПР – увеличивается концентрация парамагнитных центров, достигая $4,2 \cdot 10^{19}$.

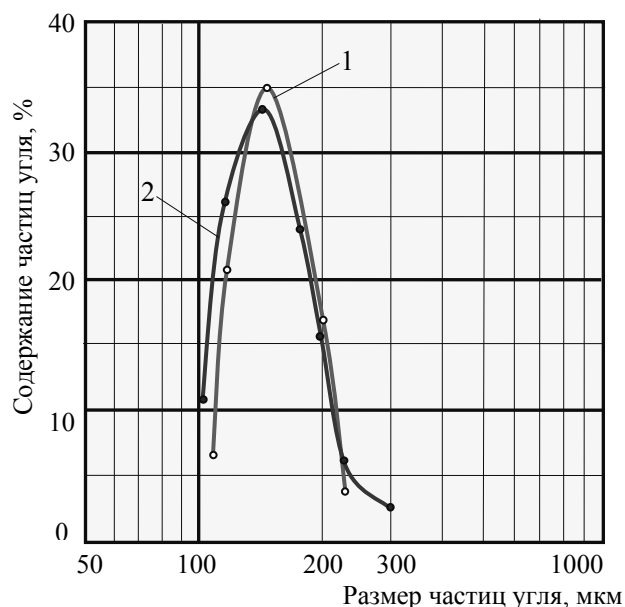


Рис. 1. Характер распределения частиц угля марки „Ж“ по размерам: 1 – исходный образец; 2 – уголь после обработки в электрическом поле

По данным ИКС, деструкция мостиковых алифатических цепочек подтверждается уменьшением оптической плотности полос 2920 и 2860 см⁻¹, соответствующих валентным и деформационным колебаниям связей С–Н в структурах, содержащих СН₂-группы, и уменьшением полос 3000-3100 см⁻¹ в ароматических углеводородах (рис. 2, а). Деструкция кислородметиленовых мостиков сопровождается обрывом связанных с ними СН₃-металльных групп (уменьшается полоса 1370 см⁻¹), рис. 2, б; рост на ИК-спектрах полос 1025 см⁻¹, характерных для первичных (–СН₂ОН) спиртовых групп, также указывает на деструкцию. Кроме этого, о деструктивных процессах свидетельствует уменьшение оптической плотности полосы 1602 см⁻¹, соответствующей С=C связи в ароматических углеводородах (рис. 2, в).

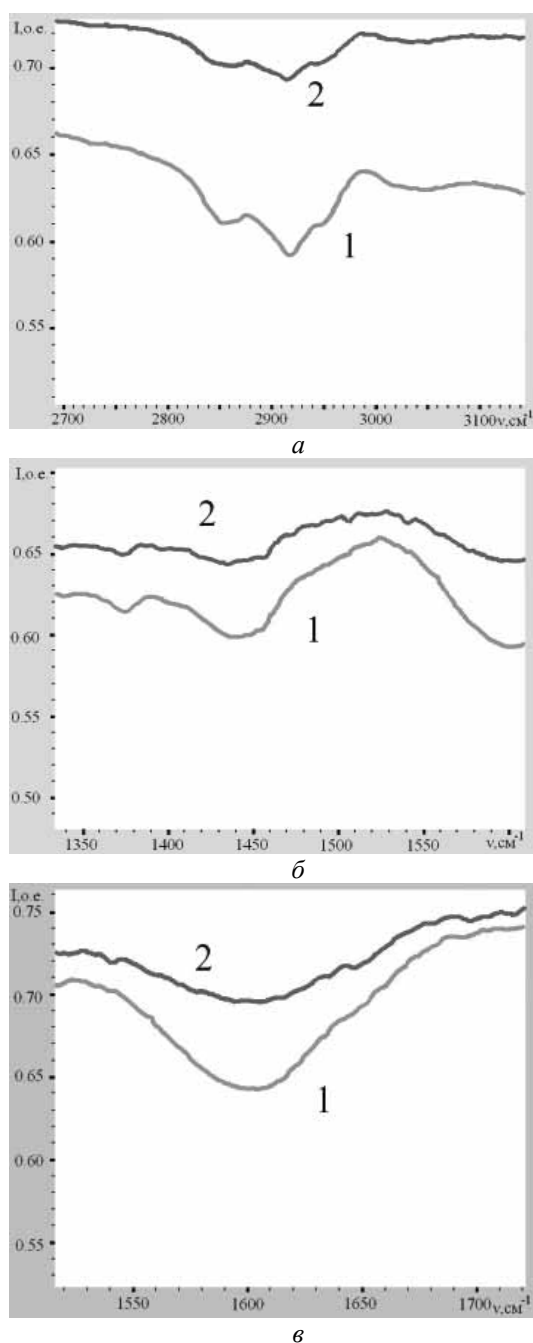
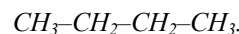


Рис. 2. ИК-Фурье спектры каменного угля марки „Ж“: 1 – исходный образец угля; 2 – уголь после обработки в электрическом поле; а – деструкция мостиковых алифатических цепочек (уменьшается оптическая плотность полос 2920 и 2860 см⁻¹, соответствующих валентным и деформационным колебаниям связей С-Н); б – деструкция кислородметиленовых мостиков (обрыв СН₃-метальных групп сопровождается уменьшением плотности полосы 1370 см⁻¹); в – уменьшение оптической плотности полосы 1602 см⁻¹ соответствует С=С связи в ароматических углеводородах

Из анализа экспериментальных данных следует, что воздействие на структуру угля слабого электрического поля инициирует развитие химических реакций „твер-

дая фаза угля→газ“, увеличивает концентрацию ПМЦ в алифатических и ароматических структурах.

Решение квантово-механической задачи. Устойчивость углеродно-водородных цепочек (квантово-механических систем) рассматривалась на примере одного из изомеров С₄Н₁₀ – н-бутана



Для исследования устойчивости углеродно-водородной молекулы, состоящей из линейно расположенных атомов углерода, решались задачи о движении электрона в поле двух кулоновских колеблющихся изотропных гармонических осцилляторов, о движении электрона в поле N-кулоновских центров, расположенных линейно, и о взаимодействии зарядов с цепочкой атомов.

Общая энергия E данной углеродно-водородной цепочки состоит

$$E = E_0 + W_1 + W_2,$$

где E₀ – энергия взаимодействия частиц в решении двухцентровой задачи; W₁ и W₂ – возмущения, вызываемые колебательным движением кулоновских центров и атомами цепочки.

Для решения уравнения Шредингера в эллипсоидальных координатах

$$\left\{ \frac{4}{R^2(\lambda^2 - \mu^2)} \left[\frac{\partial}{\partial \lambda} (\lambda^2 - 1) \frac{\partial}{\partial \lambda} + \frac{\partial}{\partial \mu} (1 - \mu^2) \frac{\partial}{\partial \mu} + \frac{4}{R^2(\lambda^2 - 1)(1 - \mu^2)} \frac{\partial}{\partial \varphi} \right] \right\} \psi + 2[E + U(\lambda, \mu)]\psi = 0 \quad (1)$$

необходимо, чтобы переменные λ, μ в уравнении разделялись и выполнялось условие

$$U(\lambda, \mu, \varphi) = \frac{\Phi_1(\lambda) + \Phi_2(\mu)}{\lambda^2 - \mu^2}.$$

К потенциалам, которые позволяют уравнению (1) разделиться, относятся:

- кулоновский потенциал

$$U_{кул}(\lambda, \mu, \varphi) = \frac{2}{R} \left[\frac{Z_1}{\lambda + \mu} + \frac{Z_2}{\lambda - \mu} \right];$$

- гармонически колеблющиеся кулоновские потенциалы

$$U_{колеб}(\lambda, \mu, \varphi) = \frac{R^2 \omega^2}{8} (\lambda^2 + \mu^2),$$

где ω – частота основных колебаний атомов углерода.

Расчет энергии основных состояний двухатомной молекулы С-С осуществлялся по формуле

$$E_{k,\Lambda,n} = \frac{\langle \psi_{k,\Lambda,n} | H_0 | \psi_{k,\Lambda,n}^* \rangle}{\langle \psi_{k,\Lambda,n} | \psi_{k,\Lambda,n}^* \rangle},$$

где H₀ – гамильтониан двухцентровой задачи

$$H_0 = \left\{ \frac{4}{R^2(\lambda^2 - \mu^2)} \left[\frac{\partial}{\partial \lambda} (\lambda^2 - 1) \frac{\partial}{\partial \lambda} + \frac{\partial}{\partial \mu} (1 - \mu^2) \frac{\partial}{\partial \mu} + \frac{4}{R^2(\lambda^2 - 1)(1 - \mu^2)} \frac{\partial}{\partial \varphi} \right] \right\},$$

а $\psi_{k,\Lambda,n}$ – волновая функция двуцентровой задачи; k, Λ, n – главные квантовые числа.

Энергия двухатомной молекулы С-С имеет вид

$$E = E_{\frac{1}{2},0,0} + E_{e-e} + \frac{Z_1 Z_2}{R}.$$

$$E_{\frac{1}{2},0,0} = \frac{4 \left[\frac{1}{2} (a - Z^+) + e^{4a} \cdot E_i(-4a) \cdot (a^2 - a \cdot Z^+ - \frac{1}{4} a) \right]}{R^2 \left[\frac{1}{2a} - \frac{4}{3} a \cdot e^{4a} \cdot E_i(-4a) \right]},$$

$$E_{e-e} = \left\langle \psi_{\text{det}} \left| \frac{1}{r_{1,2}} \right| \psi_{\text{det}} \right\rangle = \frac{4}{R \left[\frac{1}{2a} - \frac{4}{3} a \cdot e^{4a} \cdot E_i(-4a) \right]^2} \times$$

$$\times \left[\left(\frac{3}{40a^2} + \frac{1}{20a^2} \right) \cdot (C + \ln 2a) + e^{8a} E_i^2(-8a) \left(\frac{3}{40a^2} + \frac{11}{20a} + \frac{7}{5} + \frac{8a}{15} \right) + e^{4a} E_i^2(-8a) \frac{4a^2}{15} + \right.$$

$$\left. + e^{4a} E_i^2(-4a) \left(-\frac{3}{20a^2} + \frac{1}{2a} - \frac{1}{5} \right) + \frac{1}{8a} - \frac{1}{10} \right].$$

Для конечной линейной цепочки атомов длиной R обозначим заряд первого атома через Z_a , а заряд N -го через $-Z_b$. В эллипсоидальной системе координат (λ, μ, φ)

$$\lambda = \frac{r_a + r_b}{R}; \quad \mu = \frac{r_a - r_b}{R},$$

где r_a – расстояние от электрона до первого атома; r_b – соответственно до N -го атома.

Оператор потенциальной энергии $U(\lambda, \mu, \varphi)$ системы N -кулоновских центров, расположенных вдоль линии, запишем в следующем виде

$$U(\lambda, \mu, \varphi) = \frac{2}{R} \left[\frac{Z_1}{\lambda + \mu} + \frac{Z_2}{\lambda - \mu} \right] + \sum_{i=2}^{N-1} \frac{2Z_i}{R(\lambda + \mu)} \left[1 - \frac{1 + 2\lambda\mu + \frac{4i\lambda\mu}{N-1} + \frac{4i^2}{(N-1)^2}}{(\lambda + \mu)^2} \right]^{\frac{1}{2}}.$$

Из последнего уравнения видно, что потенциал состоит из кулоновского потенциала плюс возмущение

$$W_2 = \sum_{i=2}^{N-1} \frac{2Z_i}{R(\lambda + \mu)} \left[1 - \frac{1 + 2\lambda\mu + \frac{4i\lambda\mu}{N-1} + \frac{4i^2}{(N-1)^2}}{(\lambda + \mu)^2} \right]^{\frac{1}{2}}.$$

В случае $R_1 = R_2$ последнее выражение принимает вид

$$W_1 = Z^+ \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{d^i R^{i-1}}{i!} \left[2I_{i+1} + \frac{2E_i(-4a)}{3} \right] + Z^- \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{d^i R^{i-1}}{i!} \left[2I_2 + \frac{2E_i(-4a)}{3} \right] +$$

$$+ Z^+ \sum_{j=i=4}^{\infty} \sum_{j=i+1}^{\infty} (-1)^{i+j+1} \frac{d^{i+2j} R^{i+j}}{(8+32(i+j-4))} \left[\frac{2I_{i-1}}{(2+(i+j)+1)} + \frac{2E_i(-4a)}{(2(i+j)+3)} \right],$$

где

$$Z^{\pm} = Z_1 \pm Z_2; \quad I_i = \int_1^{\infty} \frac{\lambda^i e^{-a(\lambda-1)}}{\lambda+1} d\lambda.$$

Для рассмотрения влияния третьего кулоновского центра на отдельно выбранную химическую связь представим третий центр как некоторое возмущение, которое действует на нее. Тогда гамильтониан можно представить в виде

$$H_0 = -\frac{h^2}{2M_1} \Delta \bar{R}_1 - \frac{h^2}{2M_2} \Delta \bar{R}_2 - \frac{h^2}{2M_3} \Delta \bar{R}_3 + \frac{Z_1 Z_2}{|\bar{R}_2 - \bar{R}_1|} + \frac{Z_1 Z_3}{|\bar{R}_3 - \bar{R}_1|} + \frac{Z_3 Z_2}{|\bar{R}_3 - \bar{R}_2|},$$

где H_0 – гамильтониан взаимодействия трех частиц; Φ – полная волновая функция временного уравнения Шредингера.

С учетом этого предположения выберем два кулоновских центра за основу, а возмущение, вызванное влиянием третьего центра, представим в виде разложения Неймана

$$W_3 = \frac{2Z_3}{R} \sum_{p=0}^{\infty} \sum_{m=-p}^p (-1)^m (2p+1) \frac{(p-|m|)!}{(p+|m|)!} P_p^{m|}(\lambda_{<}) Q_p^{m|}(\lambda_{>}) P_p^{m|}(\mu_3) Q_p^{m|}(\mu_3) e^{im(\varphi-\varphi_3)},$$

где $\lambda_{>} = \frac{R_2 + R_3}{R_1}; \quad \mu_3 = \frac{R_2 - R_3}{R_1}; \quad \lambda_{<}$ – большая или

меньшая из величин; $P_p^{m|}(\lambda_{<})$ и $Q_p^{m|}(\lambda_{>})$ – присоединенные функции Лежандра I и II рода.

Тогда с учетом возмущения энергия задача трех частиц будет следующей

$$E_0(R_1, R_2, R_3) = \frac{\langle \psi | H + W | \psi^* \rangle}{\langle \psi | \psi^* \rangle} + E_0(R_1) +$$

$$+ \sum_{i=1}^N \frac{4aZ_i}{R_i} \left[\frac{1}{2a} - \frac{4a}{3} e^{4a} E_i(-4a) \right] \left\{ Q_0^i(\lambda_3) \left[\frac{2}{3} e^{4a} E_i(-4a) - \frac{1}{4a^2} \right] - \frac{1}{8a^2 e^{2a(\lambda_3-1)}} [P_2(\lambda_3) P_2(\mu_3) - I] \right.$$

$$\left. \left[e^{2a(\lambda_3+1)} E_i(-2a(\lambda_3+1)) - e^{2a(\lambda_3-1)} E_i(-2a(\lambda_3-1)) \right] - Q_2^i(\lambda_3) P_0^i(\mu_3) \left[\frac{2}{3} e^{4a} E_i(-4a) + \right. \right.$$

$$\left. \left. + (\lambda_3^2 - 1) e^{2a(\lambda_3-1)} E_i(-2a(\lambda_3-1)) + e^{-2a(\lambda_3-1)} \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{4a^2} - \frac{\lambda_3}{2a} \right) + \frac{1}{4a^2} \right] + \right.$$

$$\left. + Q_0^i(\lambda_3) P_2^i(\lambda_3) P_2^i(\mu_3) \left[(\lambda_3^2 - 1) e^{2a(\lambda_3+1)} E_i(-2a(\lambda_3+1)) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{4a^2} - \frac{\lambda_3}{2a} \right) \right] e^{-2a(\lambda_3-1)} \right.$$

$$\left. P_2^i(\lambda_3) P_2^i(\mu_3) \cdot \left[e^{4a} E_i(\lambda_3 + 1) E_i(-2a(\lambda_3 + 1)) + \frac{1}{2a} e^{-2a(\lambda_3 - 1)} \right] \right\}.$$

Расчет энергии связи С-С показан на рис. 3.

Видно, что при наличии свободного электрона химическая связь „разрыхляется“ (кривая 2) и практически перестает существовать, если влияние на нее оказывают более двух свободных электронов (кривая 3). На рис. 4 показано, что взаимодействие положительного электрического заряда с химической связью С-С увеличивает расстояние между атомами и, соответственно, уменьшает энергию связи и ее стабильность.

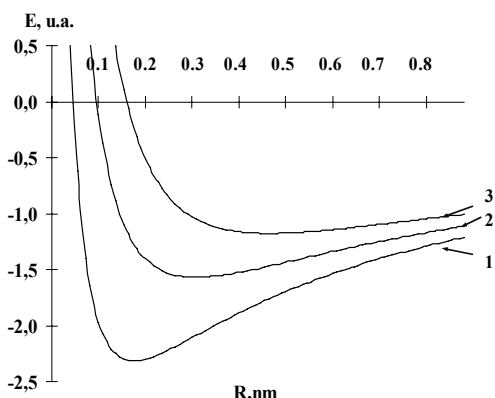


Рис. 3. Влияние „лишних“ электронов на энергию связи соседних атомов молекулы: 1 – энергия невозмущенной связи C-C; 2 – энергия связи C-C с учетом влияния одного электрона; 3 – энергия связи C-C с учетом влияния двух электронов

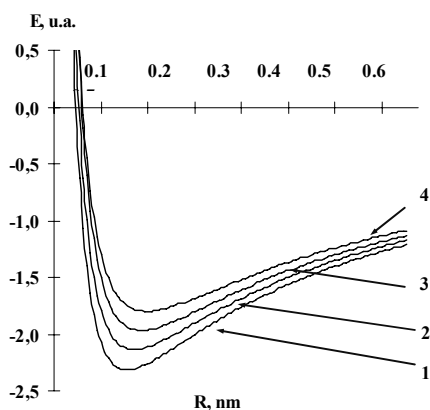


Рис. 4. Характер изменения энергии связи от заряда $Z=2$, который находится на расстоянии H от середины этой связи: 1 – $H=6$ нм; 2 – $H=5$ нм; 3 – $H=4$ нм; 4 – $H=3$ нм

Произведенные оценки свидетельствуют о принципиальной возможности разрушения цепочки и косвенно подтверждают результаты, полученные в экспериментальных исследованиях влияния слабых электрических полей на структуру углей.

Выводы. По результатам действия электрическое стимулирование химических процессов в углях аналогично механохимической активации.

Квантово-механическая оценка влияния внешних элементарных электрических зарядов на устойчивость химической связи свидетельствует о снижении энергии между атомами углерода и разрыве связей в случае увеличения количества свободных электронов.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ГП НПО „ПХЗ“ за предоставленную возможность использовать оборудование и помощь в проведении исследований.

Список литературы / References

1. *Большинский М.И.* Теория внезапных выбросов угля, пород и газа / *Большинский М.И.* – Донецк: ДГТУ, 1993. – 139 с.

Bolshinskiy M.I. Theory of abrupt outburst of coal, rock and gas / *Bolshinskiy M.I.* – Donetsk: DSTU, 1993. – 139 p.

2. *Механохимические превращения углей при метаморфизме как ведущий фактор внезапных выбросов* / [Г.Д. Фролков, Г.В. Малова, С.А. Французов и др.] // Уголь. – 1998. – №7. – С. 60–64.

Mechanical and chemical transformations of coal at metamorphism as a leading factor of the abrupt outbursts / [G.D. Frolkov, G.V. Malova, S.A. Frantsuzov et al.] // Ugol. – 1998. – No.7. – P. 60–64.

3. *Соболев В.В.* Роль электрического тока в стимулировании деструктивных процессов в каменном угле / В.В. Соболев, А.В. Чернай, С.А. Черняк // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Техн. науки. – 2006. – Приложение №9. – С. 45–51.

Sobolev V.V. Role of the electric current in stimulation of destructive processes in coal // V.V. Sobolev, A.V. Chernay, S.A. Chernyak // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tech. Sci. – 2006. – appendix No.9. – P. 45–51.

4. *Соболев В.В.* Образование новых фаз в измельченном кальците с добавками кремния при нагревании и пропускании электрического тока / Соболев В.В. // Минералогический журнал. – 2008. – №4. – С. 25–32.

Sobolev V.V. Formation of new phases in pounded calcite with addition of silicon during heating and passing of electric current / *Sobolev V.V.* // Mineralogical Journal. – 2008. – No.4. – P. 25–32.

Показано, що під час пропускання слабкого електричного струму частка твердої фази кам'яного вугілля перетворюється в газ. Припускається, що основна доля рухомих компонентів утворюється під час руйнування вуглецевих та вуглеводневих ланцюжків. Дані досліджень методами електронного парамагнітного резонансу, інфрачервоної спектроскопії, рентгеноструктурного аналізу підтверджують часткове перетворення макромолекули вугілля в газ. Наведено квантово-механічне рішення задачі про стійкість хімічних зв'язків вуглеводневих ланцюжків.

Ключові слова: електричний струм, вугілля, газ, квантова механіка, стійкість, наноструктура

It has been shown that a part of the solid phase of black coal transmutes into gas under the influence of weak electric current. It is supposed that destruction of the carbonaceous and hydrocarbon chains leads to essential formation of the mobile components. Data received by means of electronic paramagnetic resonance method, infrared spectroscopy, roentgen-structural and other researches has confirmed partial transmutation of macromolecule of coal into gas. The quantum-mechanical solution of a problem concerning hydrocarbon chain chemical bonds stability is given.

Keywords: electric current, coal, gas, quantum mechanics, stability, nanostructure

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.В. Солодяніним. Дата надходження рукопису 13.04.11