

3. Кондратов Л. С. Исследование газового поля шахтных полей по адсорбированной форме газа с целью предотвращения аварийных ситуаций / Л. С. Кондратов, Л. М. Фокина // Наука и техника в газовой промышленности, 2009. – № 3. – С. 47 – 53.

4. Лепігов Г. Д. Концентрація вуглеводнів в Донбасі в світлі абіогенної теорії їх генезису / Г. Д. Лепігов, С. І. Орлів, В. М. Гулій // Геолог України, 2008. – № 3. – С. 73 – 79.

5. Лепігов Г. Д. Геологічна модель передумов концентрації глибинного метану у вугленосних товщах / Г. Д. Лепігов, С. І. Орлів, В. М. Гулій // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2008. – С. 11 – 17.

6. Льовкін М. Б. Розробка науково-організаційних методів запобігання аваріям та травматизму на основі встановлення закономірностей їх проявлення у вугільних шахтах України. Автореф. дис. ... д.т.н., Державний Макіївський науково-дослідний інститут з безпеки робіт у гірничій промисловості (МакНДІ). – Макіївка – 2003.

7. Скурский М. Д. Золото-редкоземельно-редкометалльно-нефтегазоугольные месторождения и их прогноз в Кузбассе / М. Д. Скурский. – Кемерово : КузГТУ, 2005. – 627 с.

8. Сывороткин В. Л. Экологические аспекты дегазации Земли. Автореф. дис. ... к.г.-м.н. – МГУ: М. – 2001.

9. Gulyi V. Geological, geochemical and isotopic models of methane concentration in the Ukrainian coal basins / V. Gulyi, G. Lepigov, O. Tysiachna // X Isotope Workshop of the ESIR, Zlotniki Luban'skie, Poland, 2009. Abstract.

10. A review of the occurrence, form and origin of C-bearing species in the Khibiny Alkaline Igneous Complex, Kola Peninsula, NW Russia / V. A. Nivin, P. J. Treloar, N. G. Konopleva, S. V. Ikorsky // Carbonatites Plus. A special issue arising from the EuroCarb ESF Network Lanzarote and Fuerteventura, Spain 16-21 September 2003. Eds. F. Wall, G. Rosatelli, F. Stoppa. – P. 93 – 112.

**УДК 553.94: 551.735(477.82/83)**

Д-р. техн. наук Ю. В. Стефанік,  
канд. геол. наук В. М. Храмов,  
м.н.с. П. М. Явний (ІГГГК НАН України)

### **СПОСІБ ОТРИМАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ГАЗУ З НЕКОНДИЦІЙНИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ ШЛЯХОМ ІНІЦІАЦІЇ ЛАНЦЮГОВОЇ РЕАКЦІЇ УТВОРЕННЯ ВІЛЬНИХ РАДИКАЛІВ**

Используя аппарат классической молекулярной физики и коллоидной химии, показана возможность генерации метана в поровом пространстве угля путем деструкции высокомолекулярного органического вещества механизмами цепных свободнорадикальных реакций с увеличением объема. Система газ-уголь рассматривается нами как гетерогенная с локальными проявлениями высокой степени разряжения, образованной вследствие комбинации нано-, микро- и макроструктур.

### **METHOD OF ENERGY GAS ESTIMATION FROM NON-CONDITIONED COAL SEAMS BY FREE RADICAL CHAIN REACTION INITIAL**

Using classical instrument of molecular physics and colloid chemistry possibilities of methane generation within porosity coal space by high-molecular substance decomposition with free radical chain reaction it is shown. The system is considered as superfine heterogenic with high depression that realized through combination nano-, micro- and macrostructures. Quantities of methane than could be generated by initial of free radical reactions in the disrupted seam (includes man-caused) practically unlimited in the presence of organic matter.

Значні запаси некондиційного вугілля, яке незатребуване шахтним видобутком в межах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну може стати суттєвим джерелом забезпечення України природним газом метаном, що допо-

може вирішити як економічні питання забезпечення енергоносіями, так і політичні аспекти енергетичної незалежності і самодостатності.

В нашій роботі ми пропонуємо новий підхід щодо механізму метаногенерації в різних мікрокомпонентах вугілля відповідно до розмірності та взаємної комбінації порожнин.

Більшість дослідників розглядають і досліджують процеси перетворення органічної речовини вугілля (ОР) за умовин відповідного геостатичного тиску у пласті [1-10]. На нашу думку такий підхід частково правильний лише для системи газ-вугілля з макроскопічними ( $>10^{-4}$  м) розмірами пустот, але жодним чином не висвітлює процеси у мікро- ( $10^{-6}$ - $10^{-5}$  м) та наноскопічних ( $10^{-9}$ - $10^{-8}$  м) просторах.

Погляди щодо пояснення процесів метаногенерації у наноструктурах вугілля не нова. Концептуальні питання описані і розвиваються російськими і українськими вченими [11].

На нашу думку аналогічні процеси відбуваються до мікрорівня, визначальним є не тільки наявність порожнин певного розміру, але обов'язкова їхня певна комбінація. В представленій роботі нами зроблено спробу дати кількісну оцінку процесу.

Отже, мета дослідження - використовуючи апарат класичної молекулярної фізики та колоїдної хімії визначити передумови генезису та динаміки метану у поровому просторі вугілля шляхом розкладу високомолекулярної органічної речовини механізмами вільнорадикальних реакцій зі збільшенням об'єму в гетерогенній сильно подрібненій системі з високим ступенем розрідження, який реалізується через комбінації нано-, мікро- та макроструктур.

Розглянемо гетерогенну систему газ-вугілля (СГВ) за сталою температури для всіх фаз. Така система не може бути описаною лише макроскопічними параметрами температури, тиску та питомого об'єму кожної фази, тому що дисперсність структур газоконтейнерів зумовлює чисельні локальні зони з унікальними термодинамічними характеристиками.

Нами в роботі використовується явище, що описує та розглядає розділ молекулярної фізики: «у буквальному розумінні частину простору, що не зайнята речовиною називають вакуум. Це означає, що в ємності певного об'єму створиться вакуум, коли будь яким способом з неї вилучити всі молекули газу, тобто створити абсолютну пустоту. У повсякденному житті поняття вакуум позбавлено змісту. Ступень вакууму визначається величиною тиску, який створюється у посудині залишкові молекули повітря чи якогось іншого газу. Але тиск газу пов'язаний з вільним пробігом молекул, а саме  $\lambda=1/P$  (рис. 1). Тому під вакуумом розуміють таке розрідження газу, при якому довжина вільного пробігу молекул більша за геометричні розміри посудини.

Отже, поняття вакуум не є абсолютним, а відносним... Наприклад, при дуже малих розмірах посудини вакуум може бути за нормальних умов, тому що тут виконуватиметься співвідношення  $\lambda > L$ , де  $L$  – геометричний розмір посудини. Прикладом можуть бути пористі тіла (відпалена глина, вугілля тощо), у яких під атмосферним тиском газ у порах з розмірами  $10^{-5}$  см буде розріджений на-

стільки, що являтиме собою вакуум. Залежно від тиску, який створюють залишкові гази, вакуум розділяють на низький ( $10^5$ - $10^2$ ), середній ( $10^2$ - $10^1$ ), високий ( $10^1$ - $10^0$ ) і надвисокий ( $10^0$  і нижче)» [6].

При наповненості порожнин газовою фазою речовини у порі меншого радіусу тиск значно менший від геостатичного (рис. 1), що сприяє протіканню вільнорадикальних реакцій зі збільшенням об'єму, зокрема утворення метану з високомолекулярних органічних речовин вугілля.

Необхідно зазначити, що описана схема фізично-хімічних умовин у поровому просторі вугілля вірна лише для газу. Якщо пори будь яких розмірів містять рідину, то умовини змінюються на протилежні.

В нашій роботі зроблено спробу дати кількісну оцінку залежності концентрації газу в порожнині від його діаметру та довжини.

Розглянемо об'єкт (рис. 1) з діаметром  $d_1$  та довжиною  $L$ . З однієї сторони він закритий, а іншої відкритий у простір з діаметром  $d_2$  значно більшим. Згідно закону збереження енергії, середня енергія частинок у порожнинах 1 та 2 має бути однакою. Будемо вважати, що енергія частинки у просторі 2 суто кінетична, а у просторі 1 – кінетична і потенціальна. Потенціальна енергія пропорційна площі поверхні капіляра.

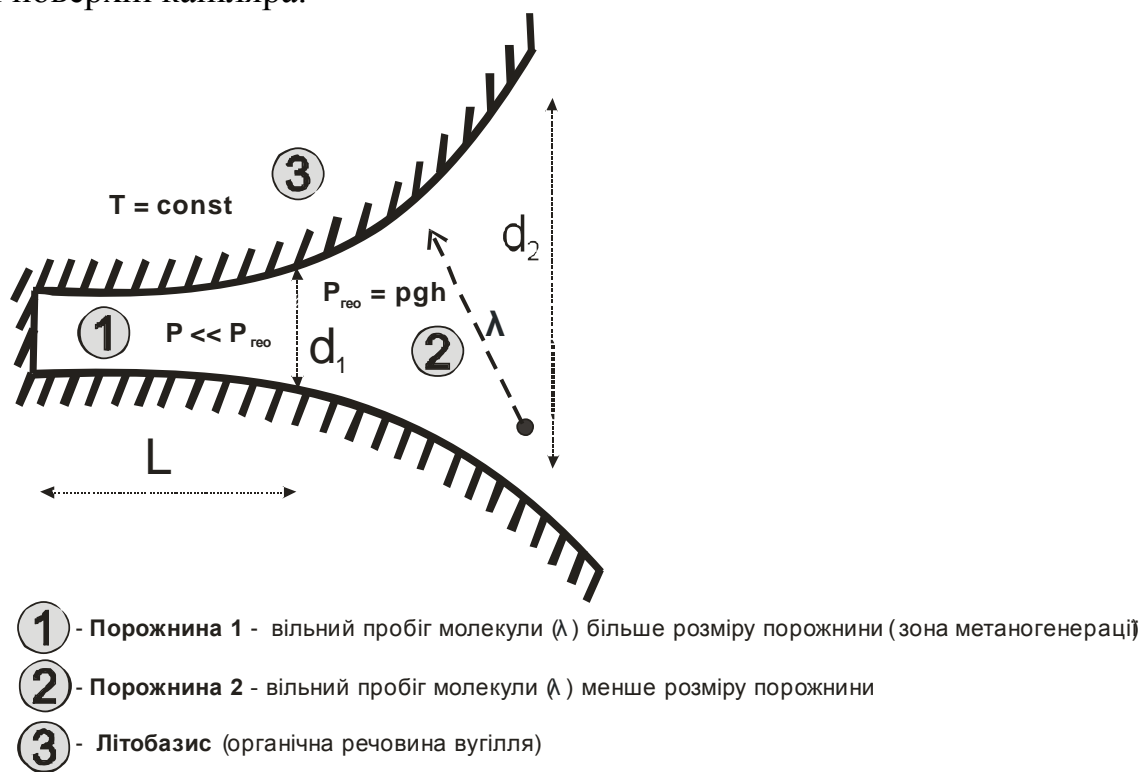


Рис. 1 – Схема термодинамічних характеристик газової фази в поровому просторі вугілля

Враховуючи баланс енергії для вказаного об'єкту отримуємо наступне рівняння :

$$\frac{1}{c_1} - \frac{1}{c_2} = a \left( \frac{1}{L} + \frac{4}{d_1} \right), \quad (1)$$

де  $c_1$  та  $c_2$  (моль/м<sup>3</sup>) – молярні концентрації газу відповідно у порожнинах 1 та 2;  $a$  (м)- відношення питомої енергії (потенціальна) взаємодії молекули з поверхнею порожнини 1 до питомої кінетичної енергії молекули;  $L$  та  $d$  – лінійні розміри порожнини (довжина і діаметр). Формула (1) показує, що із зменшенням лінійних розмірів порожнини 1 концентрація газу в ній зменшується до концентрації у порожнині 2.

Застосовуючи рівняння стану Менделєєва-Клаперона до формули 1, отримаємо вираз для визначення тиску у порожнині 1:

$$P_1 = \frac{1}{\frac{1}{P_2} + \frac{a}{RT} \left( \frac{1}{L} + \frac{4}{d_1} \right)}, \quad (2)$$

де  $R$  (Дж/моль·К) – універсальна газова стала;  $T$  (Кельвін) – температура;  $P_1$  та  $P_2$  (Па) – тиск у порожнинах 1 і 2.

Отже, за формулами (1) і (2) можна оцінити термодинамічні умовини рівноваги у порожнинах системи газ-вугілля в залежності від геостатичного тиску, розміру порожнин і температури системи (пласта).

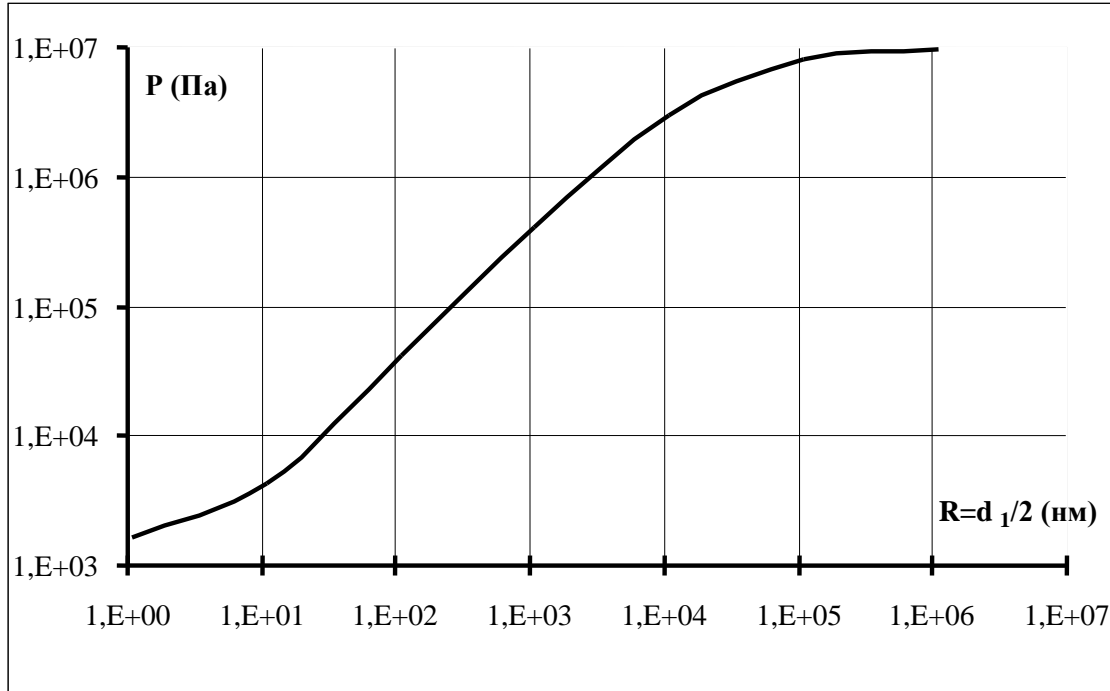


Рис. 2 – Графік залежності тиску у порі від радіусу

Крива залежності (рис. 2) побудована для геостатичного тиску 10 МПа і температури 300 К. В порах радіусом порядку 1 мм газ знаходиться під геостати-

чним тиском. Зі зменшенням радіусу пори (комбінації пор) тиск газу зменшується.

Запропонований механізм генерації метану механізмом ініціації ланцюгових вільнорадикальних реакцій підтверджує точку зору Скипочки С. І. та Паламарчук Т. А. про додаткове раптове газовиділення (генерацію) метану під час викидів газу у шахтних виробках під час механічного руйнування вугілля в наслідок вільних метильних груп (метильних радикалів). Твердим залишком таких реакцій є «бешенная мука», значні структурні та фізико-хімічні властивості якого значно відрізняються від вихідних властивостей вугілля [12, 13].

Кількість метану, що утворюється внаслідок ініціації вільнорадикальних реакцій через порушення рівноваги у пласті (включно техногенний вплив), практично необмежений за наявності органічної речовини.

Отже, вугільний пласт можна розглядати як природний газогенератор метану за умови ініціації вільнорадикальних ланцюгових реакцій. Можливими механізмами реалізації є механічний (ультразвук, вибух, розгрузка тисків) та хімічний (додавання речовин з активними радикалами) вплив на вугільний пласт.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кравцов А. И. Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. Том 3. Генезис и закономерности распределения природных газов угольных бассейнов и месторождений СССР / А. И. Кравцов. – М. : Недра, 1980. – 218 с.
2. Кушнирук В. А. Газоносность угольной толщи Львовско-Волынского угольного бассейна / В. А. Кушнирук. – К. : Наук. думка, 1978. – 120 с.
3. Иванов А. К. Систематизация природных газов и газовая зональность каменноугольных бассейнов / А. К. Иванов. – Львов-Киев, 1980. – 148 с. (Труды Института геологии и геохимии горючих ископаемых АН УССР, вып. 15).
4. Лидин Г. Д. Газообильность каменноугольных шахт СССР / Г. Д. Лидин. – М. : Изд-во АН СССР, в 3-х т., Т.3. – 1963. – 350 с.
5. Бартошинська Є. С. Газотвірний потенціал і сорбційна здатність мікрокомпонентів вугілля / Є. С. Бартошинська, С. І. Бик // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2003. – № 3-4. – С. 48 – 55.
6. Дослідження газогенераційного потенціалу кам'яновугільних басейнів України / В. І. Узюк, С. І. Бик, А. В. Ільчишин, О. М. Шевчук // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2002. – Вып. № 32. – С. 123 – 127.
7. Соколов В. А. Геохимия природных газов / В. А. Соколов. – М. : Недра, 1971. – 336 с.
8. Эттингер И. Л. Газоёмкость ископаемых углей / И. Л. Эттингер. – М. : Недра, 1966. – 222 с.
9. Эттингер И. Л. Необъятные запасы и непредсказуемые катастрофы: (Твердые растворы газов в недрах Земли) / И. Л. Эттингер. – М.: Наука, 1988. – 175 с. – (Серия «Человек и окружающая среда»).
10. Порфирьев В. Б. Природа нефти, газа и ископаемых углей. Избр. тр.: В 2 т. Т.1. Нефть и уголь – каустобиолиты / В. Б. Порфирьев. – К. : Наук. думка, 1987. – 224 с.
11. Клим М. М. Молекулярна фізика. Навчальний посібник / М. М. Клим, П. М. Якібчук. – Львів : Львівський національний університет імені Івана Франка, 2003. – 544 с.
12. Скипочка С. И. Механизмы метаногенерации в угольных пластах / С. И. Скипочка, Т. А. Паламарчук // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т Геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. № 80. – 370 с.
13. Кушнирук В. О. Природа та властивості вуглистої речовини різних ступенів метаморфізму (на прикладі вугленосних і графітоносних формацій) / В. О. Кушнирук, О. Є. Іванців, Г. О. Уженков. – К. : Наукова думка, 1977. – 160 с.