

И. Л. ЭТТИНГЕР

СПОСОБ ПРИБЛИЖЕННОГО ПОДСЧЕТА СОРБЦИОННОЙ ЕМКОСТИ  
КАМЕННЫХ УГЛЕЙ ПО ОТНОШЕНИЮ К МЕТАНУ  
ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

(Представлено академиком А. А. Скочинским 9 XI 1951)

При составлении прогноза природной газоносности угольных шахт необходимо знать сорбционную метаноёмкость каменных углей. Однако изучение сорбционных свойств углей весьма трудоемко и многим лабораториям недоступно.

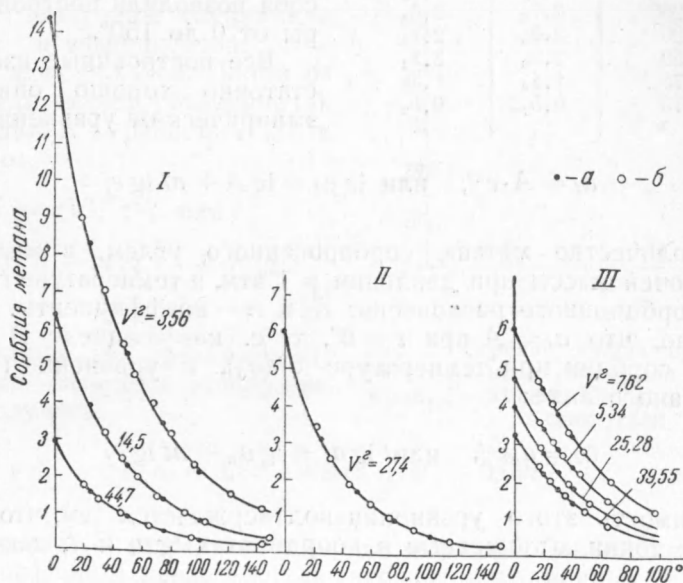


Рис. 1. Изобары сорбции метана при 760 мм рт. ст. I — угли Донецкого бассейна, II — угли Карагандинского бассейна, III — угли Кузнецкого бассейна

После обработки экспериментального материала мы пришли к заключению, что имеется возможность несложного подсчета сорбционной метаноёмкости каменных углей при атмосферном давлении и при различных температурах. Для этого нами были построены изобары сорбции метана (см. рис. 1) для донецких, кузнецких и карагандинских каменных углей.

Для построения изобар были использованы два способа, взаимно дополняющие друг друга.

1. Изотермы, изученные для данного угля (1), пересекались изобарой, соответствующей давлению в 760 мм рт. ст. При этом определялись величины сорбции при различных температурах, охваченных опытами (см. точки *a* на рис. 1).

2. Для продления изобар в область более высоких температур были построены изотермы в координатах  $\lg p$  и  $\frac{1}{T} \cdot 10^5$  (где  $p$  — давление в мм рт. ст., а  $T$  — абсолютная температура).

Таблица 1

Сравнение некоторых экспериментальных данных по сорбционной метаноемкости каменных углей с данными, рассчитанными по уравнению (2)

V, г в %	Т-ра сорбционного равновесия в °	Сорбция в мл CH <sub>4</sub> на 1 г горючей массы	
		эксп.	рассчит. по ур-нию (2)
7,6	20	4,5 <sub>0</sub>	4,4 <sub>4</sub>
15,3	20	3,4 <sub>0</sub>	3,3 <sub>4</sub>
24,0	20	3,6 <sub>9</sub>	3,6 <sub>3</sub>
25,3	20	2,7 <sub>6</sub>	2,6 <sub>8</sub>
39,6	20	2,2 <sub>0</sub>	2,1 <sub>4</sub>
14,6	50	2,3 <sub>6</sub>	2,3 <sub>4</sub>
14,6	75	1,4 <sub>6</sub>	1,4 <sub>2</sub>
44,7	75	0,5 <sub>7</sub>	0,5 <sub>3</sub>

Построенные в таких координатах прямые линии, соединяющие точки с одинаковой величиной сорбции, оказались параллельными для каждого данного угля. Это соответствует практическому постоянству теплоты адсорбции. Изобара, соответствующая  $\lg 760$  мм, пересекала полученные прямые и давала возможность определить для любой степени заполнения (величины сорбции) соответствующую ей равновесную температуру (при давлении 760 мм) (см. точки *b* на рис. 1). Оба описанных способа позволили построить изобары от 0 до 150°.

Все построенные изобары достаточно хорошо описываются эмпирическим уравнением

$$a_t = A \cdot e^{nt}, \quad \text{или} \quad \lg a_t = \lg A + nt \lg e, \quad (1)$$

где  $a_t$  — количество метана, сорбированного углем, в миллилитрах на 1 г горючей массы при давлении в 1 атм. и температуре  $t$ ;  $t$  — температура сорбционного равновесия;  $A$  и  $n$  — коэффициенты.

Очевидно, что  $a_t = A$  при  $t = 0^\circ$ , т. е. коэффициент  $A$  является величиной сорбции при температуре  $0^\circ$  ( $a_0$ ), и уравнение (1) может быть написано в виде:

$$a_t = a_0 e^{nt}, \quad \text{или} \quad \lg a_t = \lg a_0 + nt \lg e. \quad (2)$$

Применимость этого уравнения подтверждается тем, что экспериментальные точки, отложенные в координатах  $\lg a_t$  и  $t$ , дают прямые линии.

Оказалось, что значения коэффициента  $n$  изменяются весьма мало и могут быть практически приняты за постоянную величину. Значения же коэффициента  $a_0$  изменяются весьма значительно и, как мы показали в предыдущих работах (1-3), зависят от выхода летучих веществ исследуемых углей ( $V^t$ ).

Уравнение (2) позволяет вычислить сорбционную метаноемкость каменных углей для разных температур, если известны величины сорбции метана этого угля при каких-либо двух температурах.

Значения коэффициента  $n$  в уравнении (2) были вычислены по способу наименьших квадратов для 13 углей, у которых были экспериментально определены величины сорбции метана при разных температурах (от 0 до 100°). Среднее арифметическое значение коэффициента  $n$  для этих 13 углей  $n = -0,0202$ .

Для установления зависимости  $a_0$  от  $V^r$  мы нанесли на рис. 2 все данные по сорбции метана углями при  $0^\circ$ , полученные нами для отечественных углей и Коппенсом (4) для бельгийских углей.

Для зависимости величины  $a_0$  от выхода летучих веществ было предложено следующее эмпирическое уравнение:

$$a_0 = bV^r{}^m, \quad \text{или} \quad \lg a_0 = \lg b + m \lg V^r. \quad (3)$$

С целью проверки применимости этого уравнения все имевшиеся в нашем распоряжении значения  $a_0$  для различных углей нанесены на рис. 3 в координатах  $\lg a_0$ ,  $\lg V^r$ . Нанесенные точки вполне удовлетворительно ложатся около прямой линии, что подтверждает применимость эмпирического уравнения (3).

Значения коэффициентов  $b$  и  $m$  в уравнении (3) нами были подобраны по способу наименьших квадратов, причем были использованы как наши данные, так и данные Коппенса. Всего использовано 70 экспериментальных величин. Получены следующие значения коэффициентов:  $b = 24,54$ ;  $m = -0,4768$ . Линия на рис. 2 представляет уравнение (3).

Объединим уравнения (2) и (3) в одно:

$$a_t = bV^r{}^m e^{nt}, \quad \text{или}$$

$$\lg a_t = \lg b + m \lg V^r + nt \lg e. \quad (4)$$

Подставив в уравнение (4) найденные значения коэффициентов, получаем:

$$\lg a_t = 1,39 - 0,477 \lg V^r - 0,00877 t. \quad (5)$$

Уравнение (5) применимо для подсчета сорбционной метаноемкости (при атмосферном давлении) для антрацитов и каменных углей марок Т, ПС, К, ПЖ и Г. Оно не подходит для углехимически молодых углей — длиннопламенных и бурых, которые, вследствие нежесткости их угольного скелета, меняют свой сорбционный объем в процессе сорбции.

Как выход летучих веществ, так и сорбционная метаноемкость каменных углей вычисляются для сухого и беззольного угля.

Среднее квадратичное отклонение экспериментальных величин от вычисленных, выраженное в процентах (коэффициент вариации), вычислялось по известной формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{N-1}}, \quad (6)$$

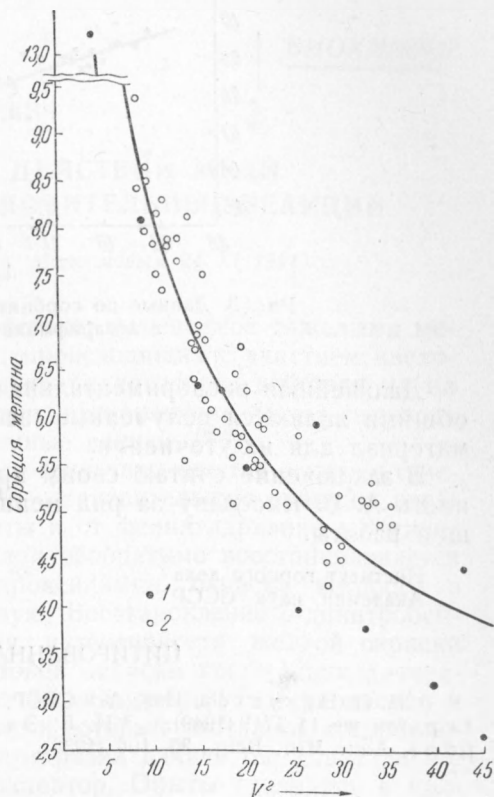


Рис. 2. Сорбция метана при  $0^\circ$  и 760 мм рт. ст. 1 — наши данные для отечественных углей, 2 — данные Коппенса для бельгийских углей

где  $\Delta$  — отклонение экспериментальной величины от вычисленной, а  $N$  — число опытов.

Для уравнения (5) при  $N = 108$   $\sigma = 10,4\%$ . Такое значение коэффициента вариации следует считать вполне удовлетворительным для столь неоднородных веществ, как каменные угли, и такого неточного показателя степени их метаморфизма, как выход летучих веществ.

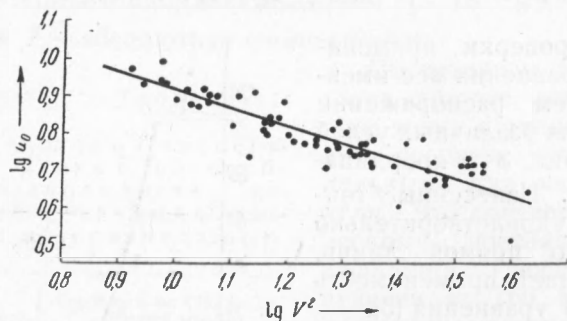


Рис. 3. Данные по сорбции метана каменными углями в логарифмических координатах

Дальнейшая экспериментальная работа должна показать, насколько общими являются полученные закономерности, и дать необходимый материал для их уточнения.

В заключение считаю своим приятным долгом принести благодарность А. В. Киселеву за ряд ценных советов при проведении настоящей работы.

Институт горного дела  
Академии наук СССР

Поступило  
6 XI 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> И. Л. Эттингер, Изв. АН СССР, ОТН, № 7, 986 (1949). <sup>2</sup> И. Л. Эттингер, там же, 11, 1719 (1949). <sup>3</sup> И. Л. Эттингер, там же, 5, 721 (1950). <sup>4</sup> L. Сорrens, App. Min. Belg., 35, 106 (1934).