

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАНОНОСНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

© R. Agaiev, A. Sheyko

IMPROVEMENT OF METHODS FOR DETERMINING THE METHANE CONTENT OF ROCKS

Цель работы заключается в совершенствовании методов определения метаноносности горных пород Донецкого каменноугольного бассейна.

Методика и результаты исследований. В работе представлена совмещенная диаграмма изменения открытой пористости песчаников, в зависимости от глубины и марки углей, построенная по данным А.Т. Айруни, Р.А. Галазова и Н.В. Жикаляка. Согласно совместному анализу экспериментальных данных расшифрован физический смысл постоянных уравнения открытой пористости песчаников карбона Донбасса и установлена взаимосвязь между геометрическими параметрами графиков и пористыми свойствами пород:

- точки пересечения графиков с абсциссой дают значения открытой пористости при атмосферном давлении;

- тангенс угла наклона графиков соответствует значениям модуля пропорциональности (градиента) между открытой пористостью и глубиной.

Учитывая, что коэффициент открытой пористости песчаников карбона Донбасса зависит от их связи с углями различных марок и глубины залегания, в настоящей работе, в развитие регионального подхода к обоснованию газоносности песчаников, разработано общее решение задачи, основанное на: расшифровке физического смысла эмпирических коэффициентов, идентификации их как физических параметров (свойств) горных пород.

Научная новизна. Графический анализ данных, представленный в работе, позволил установить линейную закономерность влияния степени метаморфизма угля на пористые свойства пород.

Установлена закономерность влияния глубины и степени метаморфизма открытой пористости, позволившая количественно оценить влияние глубины на метаноносность песчаников.

Практическое значение. Результаты исследований позволят усовершенствовать методы определения метаноносности горных пород с целью уточнения газогенерационного потенциала Донецкого угольного бассейна.

Ключевые слова: *глубина залегания, метаноносность горных пород, метод, степень метаморфизма угля, открытая пористость*

Вступление. Зависимость от импортных поставок природного газа сдерживает развитие потенциала страны в экономической, политической и социальной сфере. Проблема может быть решена путем создания в Украине собственной новой газовой отрасли за счет комплексного использования недр, а именно разработка угольных месторождений и добыча метана из них.

Основным параметром новой метанодобывающей отрасли является мощность или - годовой объем добычи газа метана, который обуславливает объем инвестиций, сроки ввода в эксплуатацию промышленных объектов и их технико-экономические показатели.

Актуальность исследований. Для обоснования мощности метанодобывающей отрасли необходимо иметь точные данные о запасах метана в Донецком угольном бассейне, которые по оценкам различных специалистов и организаций отличаются на порядок: от 0,8 до 25 трлн. м³, значительная часть которых сконцентрирована в горных породах. Причина несоответствия заключается в несовершенстве методов прогноза метаноносности этих пород с учетом фактора глубины залегания метанугольных месторождений Донбасса.

Цель работы заключается в совершенствовании методов определения метаноносности горных пород Донецкого каменноугольного бассейна для более точного отображения запасов метана в недрах земли.

Методика та результаты исследований. Горные породы угленосной толщи являются пористой средой выполняющей функцию коллектора подземных флюидов - воды и газов.

Качественный закон таков - количество природных газов в горных породах зависят от трех основных факторов: объема открытой пористости $V_{\phi n}$; природного давления газа P и температуры окружающей среды (пород) – t_n .

Формула о количестве газа свободной фазы, содержащегося в горных породах, имеет вид

$$\chi = V_{\phi n} \cdot P \cdot K_T, \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

где K_T – температурный коэффициент, сжимаемости метана.

Параметры $V_{\phi n}$; P и K_T зависят от глубины залегания пород и региональных геологических условий, которые подлежат уточнению и исследованию с учетом метаморфизма и тектонического строения отдельных угольных регионов.

На основании исследования закономерностей влияния глубины на открытую пористость, давление флюидов и температуру пород разрабатываются частные эмпирические законы, которые служат научным базисом для оценки влияния глубины на метаноносность пород.

Учитывая, что природные условия залегания пород зависят от тектонических условий и степени метаморфизма углей и пород, исследования газоносности пород выполняются применительно к каждому геолого-промышленному району. Примером такого исследования является диссертация Н.В. Жикаляка [1], в которой обоснован частный эмпирический закон изменения открытой пористости песчаников применительно к юго-западной части Донецкого угольного бассейна

$$K_{\Pi} = a \cdot H + b, \tag{1}$$

где a и b – эмпирические коэффициенты (табл. 1);

H – глубина, м.

Значения коэффициентов a и b

Геологический участок	Марка угля	Эмпирические коэффициенты	
		a	b
Родинский Глубокий	Г	-0,0031	11,50
Орджоникидзовский Глубокий	Ж	-0,0029	7,42
Горловский Глубокий	К	-0,0027	7,04

На основании установленной закономерности, Н.В. Жикаляк [3] обосновал влияние глубины на газоносность песчаников юго-западного района Донбасса.

Учитывая, что коэффициент открытой пористости песчаников карбона Донбасса зависит от их связи с углями различных марок (рис.1) и глубины залегания (рис.2) [2], в настоящей работе, в развитие регионального подхода к обоснованию газоносности песчаников, разработано общее решение задачи, основанное на: расшифровке физического смысла эмпирических коэффициентов, идентификации их как физических параметров (свойств) горных пород, в установлении закономерностей влияния степени метаморфизма углей, на свойства пород и, на этой основе. Общее решение позволило усовершенствовать методику определения газоносности песчаников.

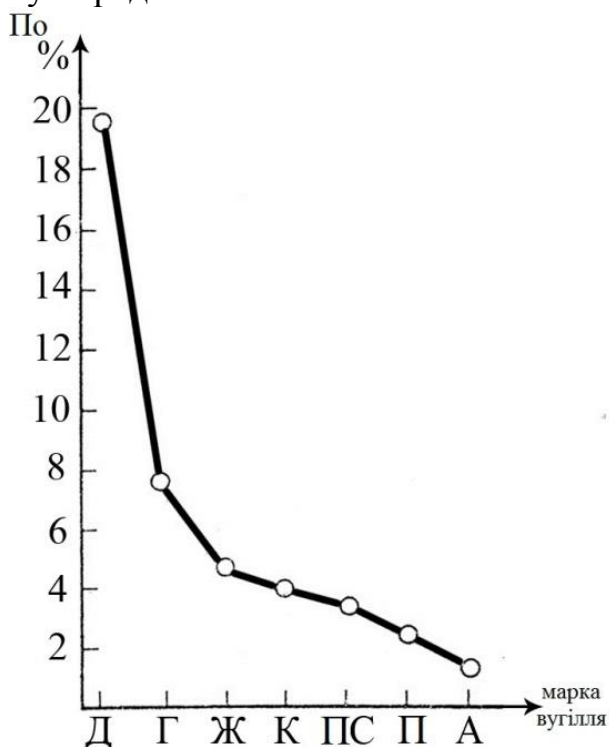


Рис.1. Изменение коэффициента открытой пористости песчаников карбона Донбасса в зависимости от их связи с углями различных марок

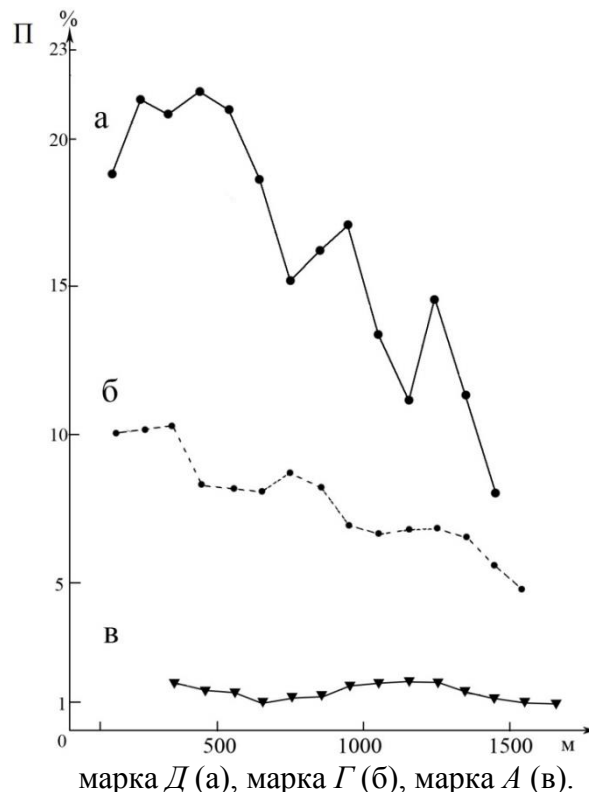


Рис.2. Изменение коэффициента открытой пористости в зависимости от глубины залегания пластов в районах распространения углей

Рассмотрим эмпирический закон влияния глубины на открытую пористость горных пород

На рисунке 3. представлена совмещенная диаграмма изменения открытой пористости песчаников, в зависимости от глубины и марки углей, построенная по данным А.Т. Айруни, Р.А. Галазова и Н.В. Жикаляка [1,2]. Согласно совместному анализу экспериментальных данных расшифрован физический смысл постоянных уравнения (1) и установлена взаимосвязь между геометрическими параметрами графиков и пористыми свойствами пород:

- точки пересечения графиков с абсциссой дают значения открытой пористости при атмосферном давлении, т.е. при $H = 0$;

- тангенс угла наклона графиков соответствует значениям модуля пропорциональности (градиента) между открытой пористостью и глубиной.

Результаты выполненного обобщения позволили установить частный эмпирический закон изменения коэффициента открытой пористости Π в зависимости от глубины залегания горных пород

$$\Pi = \Pi_0 + E_0 H,$$

где Π_0 - открытая пористость пород при $H = 0$;

E_0 - модуль (градиент) коэффициентов открытой пористости, %/м.

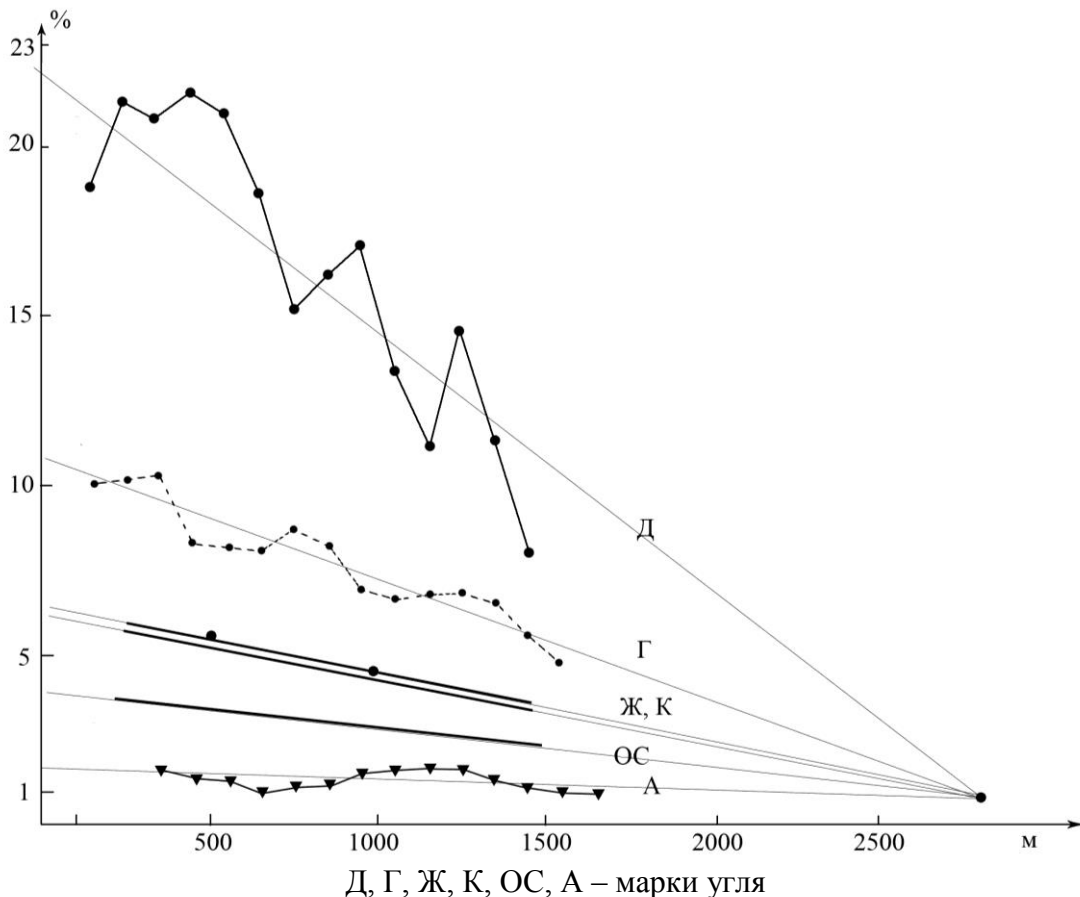


Рис. 3. Диаграмма коэффициента открытой пористости в зависимости от глубины залегания пород и марок углей

Согласно рисунку 3 установлена геометрическая особенность графиков - общее их начало (условный полюс) с координатами $H = 2780$ м и $\Pi_0 = 1$ %, позволившая определить параметры Π_0 и E_0 по результатам экспериментальных исследований, применительно к конкретным маркам угля (таблица 2).

Графический анализ данных представленных в таблице 2 позволил установить линейную закономерность влияния степени метаморфизма угля на пористые свойства пород (рис. 4, 5).

Таблица 2

Открытая пористость и модуль пропорциональности песчаников

Марка угля		Д	Г	Ж	К	ОС	Т	А
выход летучих веществ, %	в диапазоне	50-42	42-36	36-28	28-22	22-15	15-8	8-4
	среднее значение	46,0	39,0	32,0	25,0	18,5	11,5	6,0
Открытая пористость Π_0 , %		22	11	6	5	4	3	2
Глубинный градиент E_0 , %/м		0,0076	0,0036	0,022	0,0020	0,0014	0,0011	0,00072

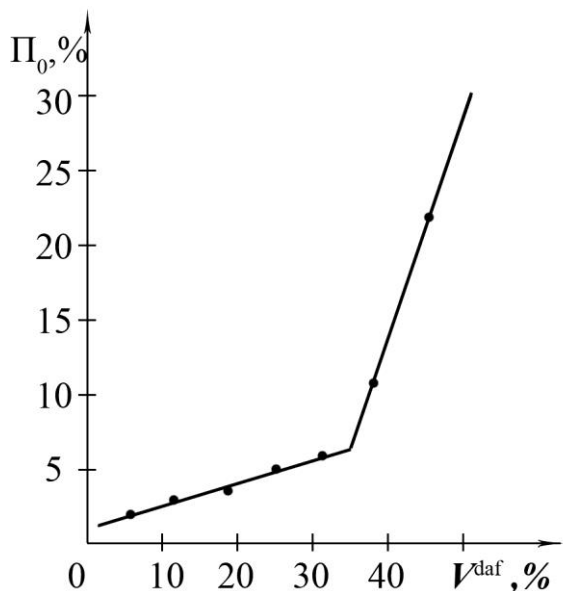


Рис. 4. Влияние метаморфизма на открытую пористость песчаников

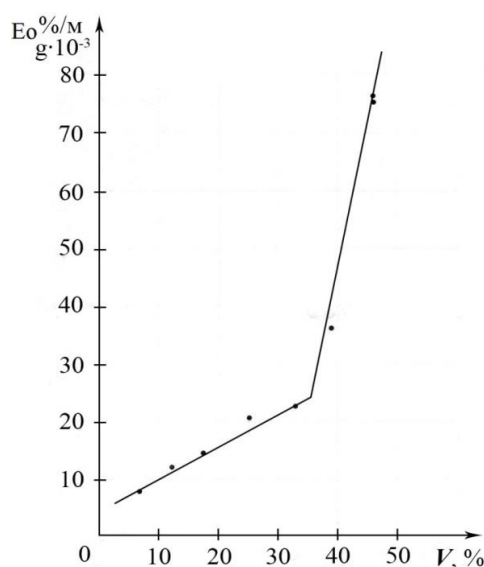


Рис. 5. Влияние метаморфизма на модуль пропорциональности открытой пористости песчаников

Математические модели частных эмпирических законов влияния метаморфизма на пористые свойства пород имеют вид ломаных прямых:

- для открытой пористости

$$\Pi_0 = a_1 + b_1 V^{daf}, \% \tag{2}$$

- для модуля пропорциональности открытой пористости

$$E_0 = a_2 + b_2 V^{daf}, \tag{3}$$

где a_1 и a_2 , b_1 и b_2 - эмпирические коэффициенты (табл. 3); V^{daf} - выход летучих веществ, %.

Таблица 3

Значение эмпирических констант в уравнениях (2) и (3)

Выход летучих веществ V^{daf} , %	a_1	b_1	a_2	b_2
до 35	0,85	0,166	0,003	0,00067
больше 35	-50,3	1,57	-0,0186	0,00077

Закономерности влияния глубины залегания на метаноемкость песчаников.

Установленные закономерности влияния глубины и степени метаморфизма на открытую пористость позволили количественно оценить влияния глубины на метаносность песчаников.

Рассмотрим наиболее простой случай, когда температура не оказывает существенного влияния на газоносность пород, а давление метана в порах подчиняется гидростатическому закону.

Запишем основные уравнения:

$$\begin{aligned} P &= 0,01 \gamma_B H; \\ V_{оп} &= 0,01 (P_0 - E_0 H); \\ \chi_{п} &= 10^{-3} \gamma_B H (P_0 - E_0 H); \end{aligned} \quad (4)$$

где γ_B – удельный вес воды, кг/м³;

P – гидростатическое давление, МПа;

$V_{оп}$ – объем открытой пористости, м³;

P_0 – коэффициент открытой пористости, %;

$\chi_{п}$ – газоносность пород, м³/т.

Согласно (4) построены графики изменения газоносности песчаников в зависимости от глубины (рис.6).

Значение глубины, на которой газоносность пород максимальна, определены из условия равенства нулю производной $\frac{dX}{dH}$. Из полученного выражения

$$\frac{dX}{dH} = P_0 - 2E_0 H = 0,$$

установлено

$$H_{\chi_{max}} = \frac{b}{2a} = \frac{1 P_0}{2 E_0}, \text{ м}^3/\text{т} \quad (5)$$

где $H_{\chi_{max}}$ – глубина расположения песчаников с максимальной газоносностью.

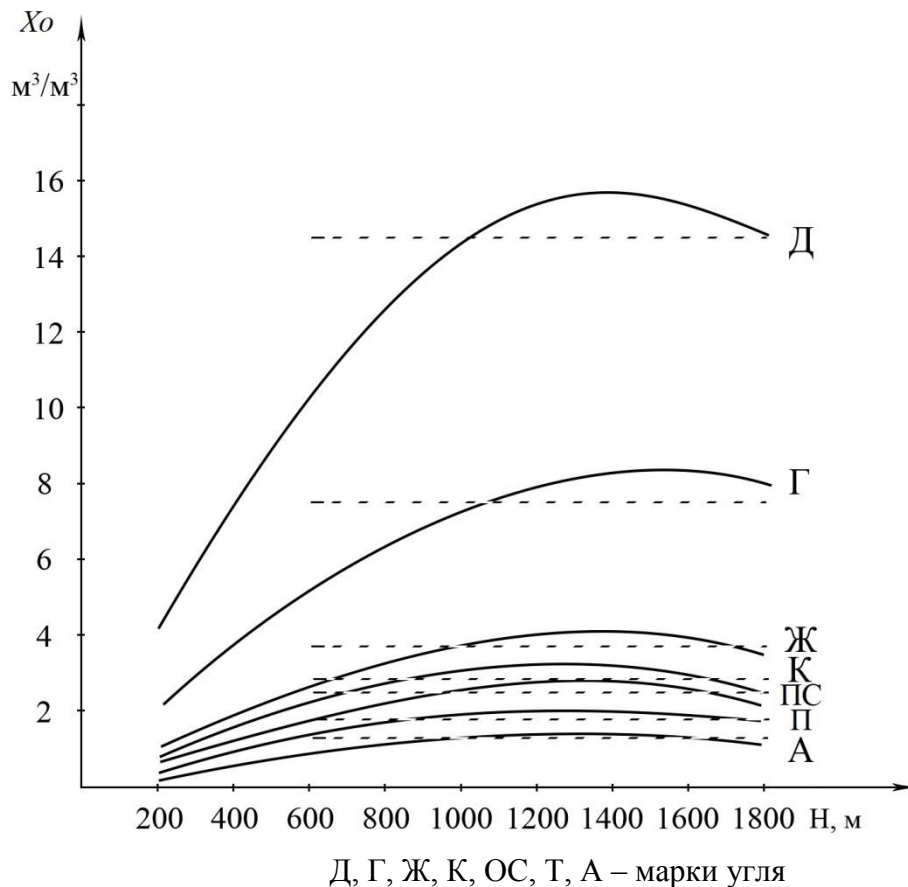


Рис. 6. График газоносности песчаников разной степени катогенеза в зависимости от глубины залегания

Подставив в (4) вместо H правую часть выражения (5) получена формула для определения максимальной газоносности пород

$$\chi_{max} = 10^{-3} \left(\frac{\Pi_0^2}{2E_0} - \frac{\Pi_0^2}{4E_0} \right)$$

или, после вычислений,

$$\chi_{max} = 2,5 \cdot 10^{-4} \frac{\Pi_0^2}{E_0}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (6)$$

Представление о параметрах $H_{\chi_{max}}$ и χ_{max} дают графики на рис.7.

Согласно формулам (5) и (6) впервые определена степень максимальной метаноносности пород, которая в 200 раз больше максимальных значений открытой пористости

$$a = \frac{H_{\chi_{max}}}{\chi_{max}} = 200 \Pi_0, \text{ м}/(\text{м}^3/\text{м}^3)$$

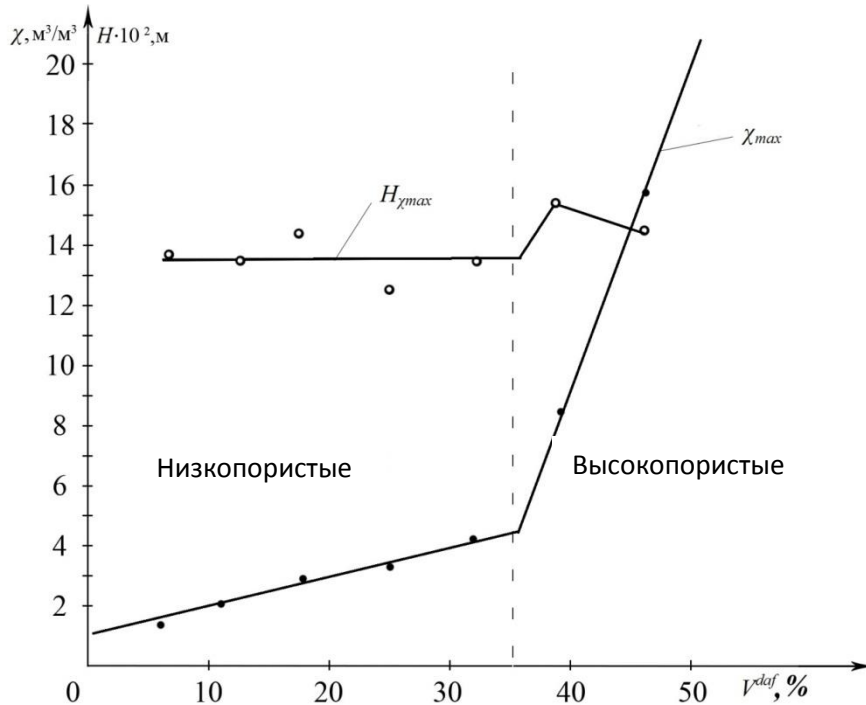


Рис. 7. График влияния степени метаморфизма пород на глубину зоны максимальной газоносности и на максимальную газоносность пород

Расчетная метаноносность пород в интервале глубин от H_1 до H_2 равна интегралу уравнения (4)

$$\chi_{п} = 0,001\gamma_{в} \left[\Pi_0 \int_{H_1}^{H_2} H dH - E_0 \int_{H_1}^{H_2} H^2 dH \right]$$

Представление о расчетных значениях метаноносности песчаников и глубин залегания песчаников с максимальной метаноносностью дают данные табл. 4.

Таблица 4

Расчетная газоносность пород

Марка угля	Д	Г	Ж	К	ОС	Т	А
Расчетная газоносность пород, $\text{м}^3/\text{м}^3$	14,5	7,6	3,8	2,9	2,6	1,9	1,3
Глубина максимальной газоносности пород, м	1447	1528	1364	1250	1429	1364	1389
Максимальная газоносность пород, $\text{м}^3/\text{м}^3$	15,9	8,4	4,1	3,1	2,9	2,0	1,4

Согласно расчетному анализу выполненных исследований установлено, что максимальная газоносность пород соответствует глубинам их залегания: 1450 – 1550 м, для марок Д и Г; и ~ 1360 м для остальных марок угля.

Выводы. В результате выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Известные методы определения запасов метана в Донецком каменноугольном бассейне дают противоречивые результаты от 0,8 до 25 трлн. м³. Главная причина противоречивых оценок запасов метана заключается в несовершенстве методов определения расчетного значения метаноносности.

2. Установлены закономерности влияния глубины на метаноносность угольных пластов, расположенных в различных газовых зонах.

3. Расшифрован физический смысл констант частного эмпирического закона влияния глубины на открытую пористость, который преобразован в общую математическую модель влияния глубины на открытую пористость горных пород.

4. Установлена закономерность влияния глубины на метаноносность пород от параметров открытой пористости

5. Установлены закономерности влияния метаморфизма угля на параметры открытой пористости горных пород.

6. Определены численные значения параметров открытой пористости для песчаников.

Результаты анализа полученных данных лягут в основу разработки комплексного метода определения запасов метана в углепородном массиве, на малых, больших и сверхбольших глубинах залегания (более 1800 м), в том числе за пределами глубин разведанных запасов угля для прогнозной оценки запасов метана в угольных пластах и пропалстках Донецкого угольного бассейна. В результате чего предстоит возможным оценки целесообразности создания в Украине новой отрасли по добыче метана в экономически эффективных объемах.

Перечень ссылок

1. Жикаляк, М.В. (2005) *Геологічні чинники формування колекторських властивостей пісковиків в південно-західній частині Донбасу*. Автореф. дис. канд. техн. наук: 04.00.16. Дніпропетровськ: НГУ.
2. Айруни, А.Т., Галазов, О.А., Сергеев И.В. (1990) *Комплексное освоение газоносных угольных месторождений*. Москва: Недра.

АНОТАЦІЯ

Мета роботи полягає у вдосконаленні методів визначення метаноносності гірських порід Донецького кам'яновугільного басейну.

Методика та результати досліджень. В роботі представлена об'єднана діаграма зміни відкритої пористості пісковиків, в залежності від глибини і марки вугілля. Згідно зі спільним аналізом експериментальних даних А.Т. Айруні, Р.А. Галазова та М.В. Жикаляка розшифровано фізичний зміст постійних рівняння емпіричного закону зміни відкритої пористості пісковиків стосовно південно-західній частині Донецького вугільного басейну і встановлено взаємозв'язок між геометричними параметрами графіків і пористими властивостями порід:

- точки перетину графіків з абсцисою дають значення відкритої пористості при атмосферному тиску;
- тангенс кута нахилу графіків відповідає значенням модуля пропорціональності (градієнта) між відкритою пористістю і глибиною.

З огляду на те, що коефіцієнт відкритої пористості пісковиків карбону Донбасу залежить від його зв'язку з вугіллям різних марок і глибини залягання, то відображено спільне рішення задачі регіонального підходу обґрунтування газонасності пісковиків, що засновано на: розшифровці фізичного сенсу емпіричних коефіцієнтів; ідентифікації їх як фізичних параметрів (властивостей) гірських порід.

Наукова новизна. Графічний аналіз даних представлений в роботі дозволив встановити лінійну закономірність впливу ступеня метаморфізму вугілля на пористі властивості порід. Встановлено закономірності впливу глибини і ступеня метаморфізму на відкриту пористість дозволили кількісно оцінити вплив глибини на метанонасності пісковиків.

Практичне значення. Результати досліджень дозволять вдосконалити методи визначення метанонасності гірських порід з метою уточнення газогенераційного потенціалу Донецького вугільного басейну.

Ключові слова: відкрита пористість, глибина залягання, метанонасність гірських порід, метод, ступінь метаморфізму вугілля

ABSTRACT

The purpose of the work is to improve the methods for determining the methane content of rocks in the Donetsk Coal Basin.

The methodology of research and findings The paper presents a combined diagram of open porosity changes of sandstones, depending on the depth and grade of coals, described according to A. Ayruni, R. Galazova and N. Zhikalak.

According to a combined analysis of the experimental data, the physical meaning of the constant equation of the open porosity of the Donbas carbonate sandstones was decrypted and the relationship between the geometric parameters of the graphs and the porous properties of the rocks was established, such as:

- intersection points of graphs with abscissa give values of open porosity at atmospheric pressure;
- the tangent of the graphs slope corresponds to the values of the modulus of proportionality (gradient) between open porosity and depth.

Taking into account that the coefficient of open porosity of Donbas carbonate sandstones depends on their relationship between the coals of different grades and the depth of occurrence, in the present work, in the development of a regional approach to the substantiation of the gas content of sandstones, a general solution of the problem was developed, which is based on decryption of the physical meaning of empirical coefficients, as physical parameters (properties) of rocks.

The originality. The graphical analysis of the data, presented in the work, made it possible to establish a linear regularity, describing the degree of coal metamorphism and the porous properties of rocks. The regularity of the influence of the depth and degree of open-porosity metamorphism was established, which made it possible to evaluate quantitatively the influence of depth on the methane content of sandstones.

Practical implications. The research results will improve the methods for determining the methane

content of rocks in order to clarify the gas-generating potential of the Donetsk Coal Basin.

Keywords: *depth of occurrence, methane content of rocks, method, degree of coal metamorphism, open porosity*

УДК 519.6

© Н.Н. Беляев, И.В. Калашников, А.В. Берлов

3D CFD МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РИСКА В УСЛОВИЯХ ЗАСТРОЙКИ

© M. Biliaiev, I. Kalashnikov, O. Berlov

3D CFD MODEL TO ASSESS TERRITORIAL RISK IN URBAN AREA

Цель. Целью работы является разработка трехмерной численной модели для оценки территориального риска при эмиссии химически опасного вещества в условиях застройки. Модель ориентирована на экспресс оценку риска при проведении серийных расчетов при разработке плана ликвидации аварийной ситуации (ПЛАС) на химически опасных объектах или при экстремальных ситуациях на урбанизированных территориях.

Методика исследований состоит в применении метода численного интегрирования трехмерного дифференциального уравнения, описывающего рассеивание в атмосферном воздухе химически опасного агента. С помощью этого уравнения определяется концентрационное поле химического агента для различных моментов времени. Эта информация составляет основу для оценки территориального риска при различных метеоситуациях. Оценка территориального риска осуществляется для урбанизированной территории, на которой происходит деформация поля скорости воздушного потока, вследствие влияния на поток зданий. Задача аэродинамики по определению поля скорости ветрового потока при наличии застройки решается на основе модели потенциального течения. Для численного интегрирования трехмерного уравнения Лапласа для потенциала скорости используется метод Либмана. Для численного интегрирования уравнения переноса в атмосферном воздухе химического агента используется неявная разностная схема расщепления. На основе разработанной численной модели создан специализированный пакет прикладных программ.

Результаты исследования. На основе разработанной трехмерной численной модели проведен вычислительный эксперимент по оценке территориального риска в случае эмиссии химического агента в условиях застройки. Вычислительный эксперимент проведен для различных вероятностных метеоситуаций.

Научная новизна. Предложена новая трехмерная численная модель, позволяющая оценить территориальный риск в случае эмиссии химического агента в условиях урбанизированной территории. Модель может быть использована для проведения серийных расчетов при разработке ПЛАСа. Модель позволяет учесть пространственно-временное распределение концентрации химического агента, атмосферную диффузию, скорость ветра, интенсивность эмиссии химического агента, наличие зданий на пути рассеивания токсичного вещества.