

УДК 553.981.4.04

Шейко А.В., магистр
(ИГТМ НАН Украины)

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСОВ МЕТАНА В УГЛЕПОРОДНОМ
МАССИВЕ ДОНЕЦКОГО БАСЕЙНА**

Шейко А.В., магистр
(ИГТМ НАН України)

**МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЗАПАСІВ МЕТАНУ У ВУГЛЕПОРОДНОМУ
МАСИВІ ДОНЕЦЬКОГО БАСЕЙНУ**

Sheyko A.V., M.S (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine)

**THE METHOD FOR DETERMINING METHANE RESERVES IN THE
COAL-ROCK MASSIF OF THE DONETSK BASIN**

Аннотация. В данной работе рассмотрен метод определения запасов метана в углепородном массиве Донецкого каменноугольного бассейна. В данном методе используется дифференцированный подход определения метаноносности углей, который основан на оценке запасов метана в угольных пластах с использованием разбивки их на классификации: региональную и глубинную. Также для определения запасов метана данный метод учитывает глубинную газовую зональность, параметры вертикальной газовой зональности, глубину зоны газового выветривания; глубину зоны газонасыщения.

В данном методе рассматривается расчетная метаноносность углепородной толщи, которая определяется как средневзвешенное по отдельным глубинам и мощностям углепородных толщ, а также представлено определение глубины залегания верхней границы зоны газонасыщения для коксующихся и тощих углей.

Ключевые слова: запасы метана, углепородный массив, газонасыщение.

Зависимость от импортных поставок природного газа создает существенные трудности в экономической, политической и социальной сфере Украины. Проблема может быть решена путем создания собственной газовой отрасли, в том числе и новой отрасли для добычи метана угольных месторождений [1].

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

Для обоснования мощности метанодобывающей отрасли необходимо располагать данными о запасах метана в Донецком метанугольном месторождении, которые по оценкам разных специалистов и организаций составляют от 0,8 до 25 трлн. м³ [2,3]. Причина значительных отклонений в оценках заключается в несовершенстве методов прогноза метаноносности угольных пластов с учетом фактора глубины залегания метанугольных месторождений Донбасса.

Метан в Донецком угольном бассейне неравномерно распределен по регионам и глубине углепородного массива. Поэтому для дифференцированной оценки запасов метана в угольных пластах разработаны две классификации: региональная и глубинная.

Для региональной газовой зональности характерными являются шесть регионов:

- второй, переходная область обратной метаноносности, расположенная в районах залегания углей марок 10А и 11А, в которых метаноносность уменьшается по мере роста степени метаморфизма антрацитов;

- третий, переходная область от полуантрацитов к антрацитам марок 10А и 11А, в которой метаноносность изменяется по параболическому закону, в зависимости от глубины (рис. 1);

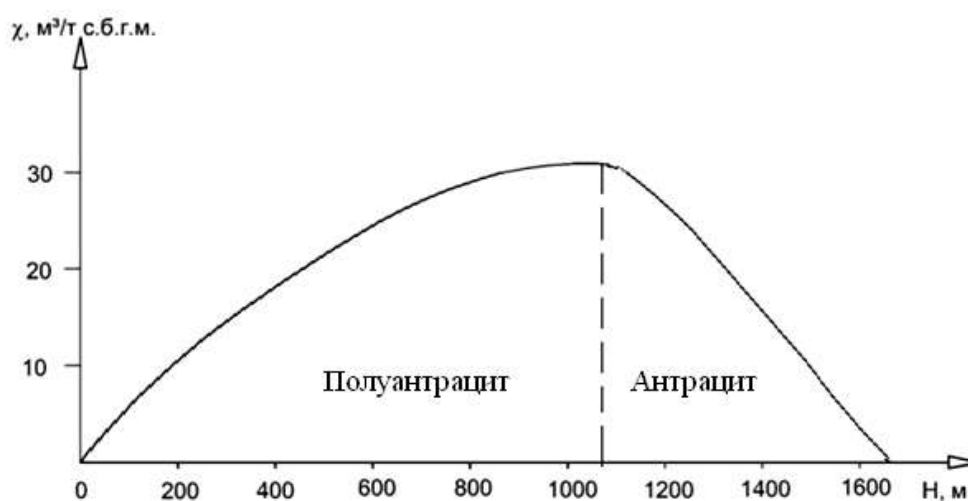


Рисунок 1 - График влияния глубины на газоносность полуантрацитов и антрацитов в переходных зонах

- четвертый, переходная область от коксующихся и тощих углей к полуантрацитам;

- пятый, регионы слабометаморфизованных углей (Новомосковско-Петропавловский, Успенковский, Лозовской, Южный, Красноармейские юго-западный и западный);

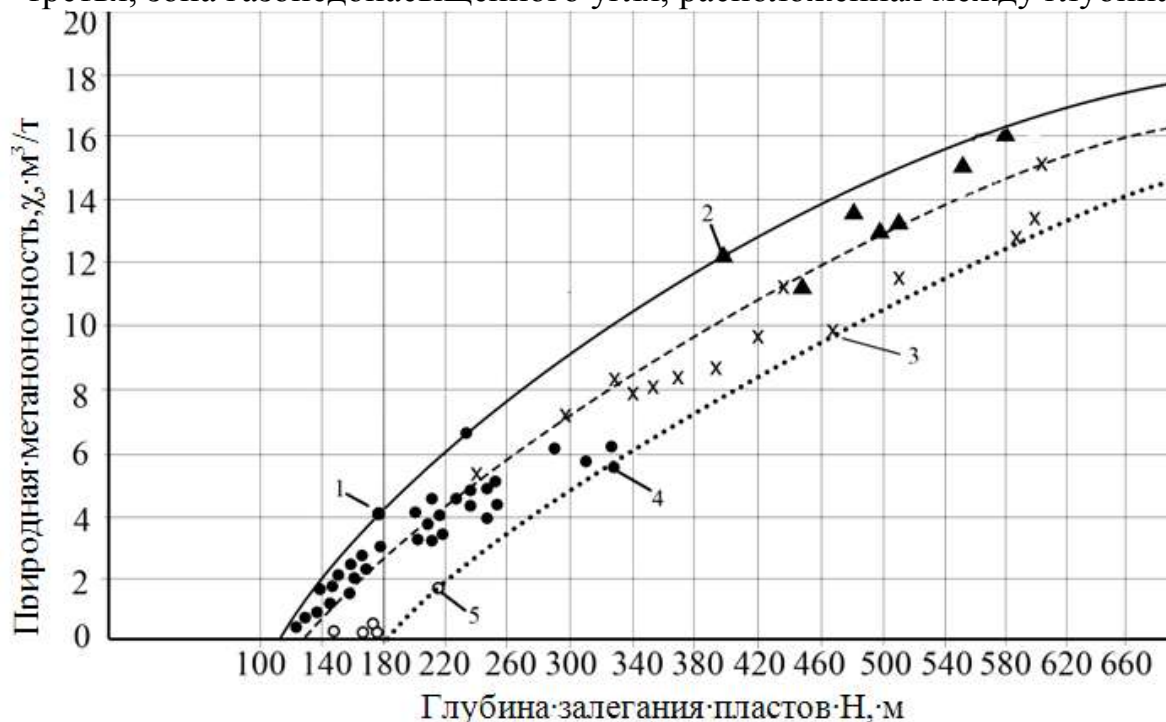
- шестой, переходные регионы от слабометаморфизованных углей к коксующимся углям (Донецко-Макеевский, Алмазно-Марьевский, Краснодонский).

Глубинная газовая зональность определяется путем выделения зон, отличающихся закономерностями изменения газоносности угольных пластов по глубине углепородного газоносного массива, и расположенных в следующей последовательности от поверхности земли:

- первая, деметанизированная зона, в которой с достаточной для практики точностью газоносность принимается равной нулю (см. рис. 2);

- вторая, зона угля с метаноносностью, не превышающей остаточную в угле, выдаваемом на поверхность;

- третья, зона газонедонасыщенного угля, расположенная между глубинами



1 – шахта №25/26; 2 – №16/17; 3 – №6/42; 4 – шахта №20/23, 29, 21/22, 4 и «Герновская»; 5 – № 1, 2, 3.

Рисунок 2 - Закономерность влияния глубины на метаноносность угольных пластов [Яровой И.М., 1970]

зоны газового выветривания и зоной газонасыщенного угля;

- четвертая, зона газонасыщенных каменных углей с переменной газоносностью, увеличивающаяся по мере роста глубины залегания угольных пластов;

- пятая, зона полуантрацитов, в которой метаноносность слабо зависит от глубины и, в среднем, равна 40-42 м³/т с.б.г.м;

- шестая, зона антрацитового метана, соответствующая глубинам залегания антрацитов марки 10А и 11А, в которых метаноносность уменьшается по мере увеличения глубины от значений метаноносности полуантрацитов до значений остаточной метаноносности антрацита марки 11А, выданного на поверхность.

Определение расчётной метаноносности углей, однородных по марочному составу (слабометаморфизованные угли Западного и Южного районов Донбасса или полуантрациты), возможно как среднеинтегральное значение

$$\bar{\chi} = \frac{1}{H - H_0} \int \frac{(H - H_0)d(H - H_0)}{a(H - H_0) + b}, \quad (1)$$

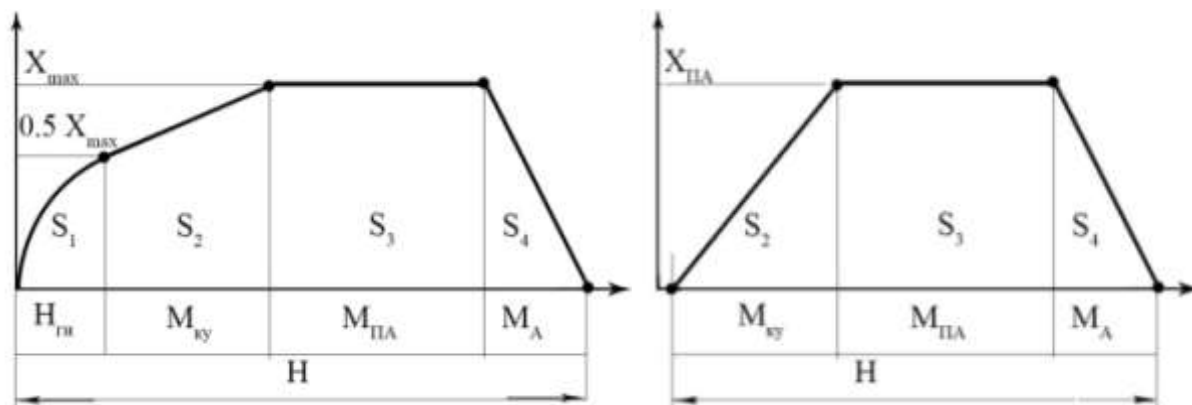
или, в явном виде,

$$\bar{\chi} = \frac{1}{a^2(H - H_0)} \{a(H - H_0) - b \cdot \ln[(H - H_0) + b]\}. \quad (2)$$

Для угольных пластов, залегающих в интервале глубин от H_1 до H_2 , среднеинтегральное значение метаноносности рекомендуется определять по формуле

$$\bar{\chi} = \frac{1}{(H_2 - H_0)a^2} \{a(H_2 - H_1) - b \cdot \ln[(H_2 - H_0) + b] - \ln[(H_1 - H_0) + b]\}.$$

Для пластов угля, расположенных в переходных зонах от одной марки к другой, метаноносность определяется согласно расчетной схеме, представленной на рис. 3.



а) для условий переходных зон; б) для условий глубокой дегазации

Рисунок 3 – Расчетные схемы

Расчетная метаноносность определяется, как средневзвешенное по отдельным глубинам и толщинам углепородных толщ: $H_{ГН}$ - глубина зоны газонасыщения, м; $H_{кУ}$ - толщина свит каменных углей расположенных между полуантрацитами и границей зоны газонасыщения, м; $M_{ПА}$ и M_A - толщина пород, в которых залегают соответственно полуантрациты и антрациты низкой стадии метаморфизма, м.

Значение расчетной метаноносности определяется по формуле

$$\chi_p = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^4 S_i,$$

где S_i - площадь i -той фигуры на расчетной схеме:

$$S_1 = \frac{1}{a^2(H_{ГН} - H_0)} \left[a(H_{ГН} - H_0) - b \cdot \ln \frac{a(H - H_0) + b}{a(H_{ГН} - H_0) + b} \right],$$

$$S_2 = \frac{1}{2} (\chi_{ГН} + \chi_{ПА}) (H_{ПА} - H_{ГН}),$$

$$S_3 = \chi_{ПА} \cdot M_{ПА},$$

$$S_4 = \frac{1}{2} \chi_{ПА} \cdot M_{ПА}$$

Для условий глубокой дегазации (рис.1.3б):

$$S_1 = \frac{1}{2} \chi_{ПА} \cdot M_{ку},$$

$$S_2 = \chi_{ПА} \cdot M_{ПА},$$

$$S_3 = \frac{1}{2} \chi_{ПА} \cdot M_A.$$

Для определение параметров вертикальной газовой зональности рассмотрим глубину зоны газового выветривания.

Анализ глубины залегания пластов (рис. 2) показывает, что на глубине залегания пластов $H = 140$ м, метаноносность угля равняется нулю. Ниже глубины $H = 140$ м, расположена зона, в которой газоносность угольного пласта удовлетворяет условие

$$\chi \leq \chi_0, \quad (3)$$

где χ_0 – остаточная газоносность пласта выдаваемого на поверхность, $\text{м}^3/\text{т с.б.г.м.}$

Уравнение (3) можно переписать в виде

$$q_{пл} = \chi - \chi_0 \leq 0, \quad (4)$$

где $q_{пл}$ – метаноотдача пласта, $\text{м}^3/\text{т с.б.г.м.}$

Из условия (4) следует, что если соблюдается условие (1), то метановыделение из угольных пластов не происходит, а горные выработки шахт не опасны по газу метану.

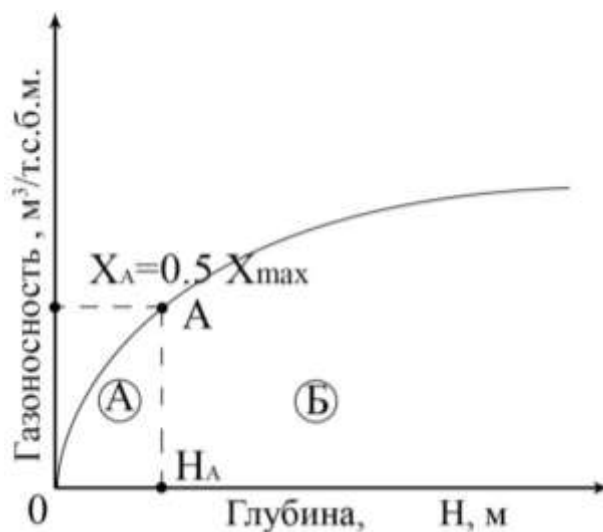
Глубина расположения поверхности зоны нулевой метаноотдачи определена путем преобразования формулы (1), при условиях $H = H_0$ и $\chi = \chi_0$. Решив преобразованное равенство (1) относительно H_0 , получим уравнение для определения глубины залегания зоны газового выветривания

$$H_0 = H_{MG} + \frac{\chi_0 b}{1 - a \chi_0}, \text{ м},$$

где H_{MG} – глубина, при которой $\chi_0=0$, м.

Исследованиями глубины зоны газонасыщения установлено, что газоотдача угольных пластов неравномерно увеличивается с глубиной. На кривой газоотдачи имеются две характерных области (рис. 4), разделяемых точкой A с ординатой H_A : при $H \leq H_A$ газоотдача интенсивно увеличивается с глубиной; при $H > H_A$ темп газоотдачи монотонно убывает, а газоотдача, в конечном счете, стремится к постоянной величине $q = q_{\max}$.

В физическом смысле ордината H_A точки A представляет меру, разделяющую углегазовый массив на газонасыщенный ($H \geq H_A$) и газонедонасыщенный ($H \leq H_A$).



А – газонедонасыщенная область; Б – газонасыщенная область

Рисунок 4 – Расчетная схема определения меры-ординаты вершины функции газонасыщенности

В математическом плане задача определения координат точки газонасыщения сводится к определению вершины кривой описываемой уравнением (1), которое при $\alpha = \frac{1}{q_{\max}}$ принимает вид

$$\varepsilon = \frac{\chi_H}{q_{\max}} = \frac{H - H_0}{(H - H_0) + b \cdot q_{\max}}. \quad (5)$$

Для определения глубины расположения газонасыщенной зоны необходимо от функции кривизны

$$K = \frac{\dot{\varepsilon}}{(1 + \dot{\varepsilon}^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad (6)$$

взять первую производную $\frac{dK}{d\varepsilon}$ и приравнять её к нулю

$$\ddot{\varepsilon}(1 + \dot{\varepsilon}^2) - 3\dot{\varepsilon}^2 \cdot \dot{\varepsilon} = 0, \quad (7)$$

где, $\dot{\varepsilon}$, $\ddot{\varepsilon}$ и $\ddot{\varepsilon}$ – производные функции (5).

Обозначив в (5)

$$C = b \cdot q_{\max}$$

$$y = (H - H_0),$$

запишем:

$$\ddot{\varepsilon} = -\frac{2C}{(C+y)^3}; \quad (8)$$

$$\ddot{\varepsilon} = -\frac{-2C}{(C+y)^3}; \quad (9)$$

$$\ddot{\varepsilon} = \frac{6C}{(C+y)^4} \quad (10)$$

Подставив в (7) вместо $\dot{\varepsilon}$, $\ddot{\varepsilon}$ и $\ddot{\varepsilon}$ правые части выражений (8), (9) и (10), после преобразований получим в явном виде выражение для определения координаты вершины функции (5)

$$y_A = \sqrt{C} - C.$$

Учитывая, что функция кривизны справедлива до знака, корнем уравнения является $y_A = |\sqrt{C} - C| = bq_{\max} - \sqrt{bq_{\max}}$.

Анализом установлено, что численные значения выражения $\sqrt{bq_{\max}}$ изменяются от 16 до 20 м, а в среднем – 18 м.

Тогда толщина зоны активной дегазации

$$y_A = bq_{\max} - 18.$$

Глубина расположения нижней границы зоны от поверхности земли может быть определена по формуле

$$H_a = (H_0 - 18) + bq_{\max}.$$

Так как $18 \ll H_0$, можно полагать, что параметры H_a и H_b равны, т.е.

$$H_a = H_b = H_0 + bq_{\max}. \quad (11)$$

Отсюда следует, что насыщение угольных пластов метаном происходит при значениях их метаноотдачи $q = 0,5q_{\max}$ на глубинах, определяемых по формуле (11). Между зонами газового выветривания и газонасыщения угля расположена зона газонедонасыщенного угля толщиной $M = bq_{\max}$.

Глубина залегания верхней зоны газонасыщения определена из условия равенства первой производной от функции газоносности $\frac{d\chi}{d(H-H_0)}$ тангенсу угла наклона $tg \alpha$ касательной, проведенной к кривой газоносности из точки с координатами

$$H = H_{\text{ПА}} \quad \text{и} \quad \chi = \chi_{\text{ПА}},$$

где $H_{\text{ПА}}$ – глубина залегания полуантрацитов, м; $\chi_{\text{ПА}}$ – метаноносность полуантрацитов, м³/т с.б.г.м.

Запишем выражение для определения $\frac{d\chi}{d(H-H_0)}$ и $tg \alpha$ в явном виде:

$$\frac{dx}{d(H-H_0)} = \frac{b}{(a(H-H_0)+b)^2}; \quad (12)$$

$$tg \alpha = \frac{\chi_{ПА} - \chi_{ГН}}{H_{ПА} - H_{ГН}}, \quad (13)$$

где, $H_{ГН}$ – искомая глубина залегания зоны газонасыщения, м; $\chi_{ГН}$ – метаноносность газонасыщенного угля на глубине $H_{ГН}$, м³/т с.б.г.м.

Отсюда следует

$$\frac{b}{(a(H-H_0)+b)^2} = \frac{\chi_{ПА} - \chi_{ГН}}{H_{ПА} - H_{ГН}}.$$

Параметр $H_{ГН}$ может быть определен разными способами. На данном этапе исследований применен графический метод.

Оценка запасов метана в угольных пластах и пропластках определена по формуле

$$\Gamma = \sum_{i=1}^n x_i \cdot Z_i, \text{ м}^3,$$

где, Z_i - запасы угля i -той марки и X_i - расчетная метаноносность угля

Запасы угля определялись по опубликованным данным, а расчетная метаноносность - по разработанной выше методике.

Запасы метана в Донецком каменноугольном бассейне определены согласно разведанным балансовым и забалансовым запасам. Балансовые запасы угля приняты равными 101 млрд.т. Забалансовые запасы угля определены по данным ПГО «Донбассгеология» [2], при мощности забалансовых пластов $0,5 > m \geq 0,3$ м, в количестве 70 млрд. т. и ГП «Укруглегеология» - при мощности забалансовых пластов $0,5 > m \geq 0,1$ м, в количестве 350 млрд. т [3].

Расчетные значения метаноносности определены по усовершенствованным методам: геологостатистическому, горностатистическому и полуэмпирическому, а также по данным УкрНИМИ (для сравнения).

Результаты прогноза запасов метана в угольных пластах Донецкого бассейна представлены в таблице 1.

Также в таблице 1 представлен расчетный срок работы метановой отрасли по обеспечению Украины природным газом.

Как видно из таблицы, угольный метан сможет покрыть импортные потребности Украины в природном газе в течение 50÷150 лет. Таким образом, Украина обладает запасами газа метана достаточными для создания весьма прибыльной новой отрасли.

Добыча метана из угольных пластов получила широкое распространение в

США [4]. Для стимулирования развития новой газовой отрасли, в 1980 году в США были введены налоговые скидки в размере \$ 15-20 на 1 т условного топлива.

Таблица 1 – Прогноз ресурсов метана

Прогнозные показатели ресурсов метана при запасах метаноносного угля, млрд. т		Значение прогнозных показателей при метаноносности угля			
		18,2 (Геолого-статистический)	18,1 (Горно-статистический)	19,6 (Полуэмпирический)	12,5 (УкрНИМИ)
Ресурсы метаноносного угля	170	3094	3077	3332	2,1
	450	8190	8145	8820	5,6
Промышленные запасы метана с учетом коэффициента получения (K=0,6) и засорения угля K=0,3	170	1,3* /56**	1,3* /56**	1,4* /60**	0,88 (40 лет)
	450	3,4* /150**	3,4* /150**	3,7* /160**	2,3 (100 лет)

* - прогнозные запасы метана (трлн. м³);

** - срок службы новой отрасли.

В 1992 году скидки на добычу метана из угольных пластов в США были отменены, так как технология его добычи была существенно усовершенствована и обеспечивала снижение в 2-3 раза затрат по сравнению с традиционной технологией добычи природного газа. Стоимость 1000 м³ на устье скважины составляет, как правило, не более \$ 10.

Стоимость бурения и оборудования одной скважины составляет, в среднем, \$ 750 тыс., а годовой объем добычи метана с одной скважины, в среднем, составляет 4,3 млн.м³.

Коэффициент извлечения метана из недр составляет ~ 0,6.

Площадь месторождения, приходящегося на 1 скважину, составляет от 32 га до 128 га. Наиболее распространена древовидная структура скважин.

Годовая потребность Украины в импорте природного газа в 2017 году составляет 23 млрд. м³.

Для покрытия импортных поставок газа добычей угольного метана необходимо пробурить $\frac{23 \cdot 10^9}{4,3 \cdot 10^6} \approx 5400$ скважин.

Суммарные затраты на бурение и оснащение скважин составляют $5400 \cdot 750 \cdot 10^3 = 4,05 \cdot 10^9$ долларов США. Прочие затраты на строительство Донбасской газотранспортной системы приняты ориентировочно в размере 100 %.

На создание новой газовой отрасли потребуется порядка \$ 8 млрд. При этом эксплуатационные затраты будут составлять не более 20÷25 долларов США на 1000 м³.

Таким образом, создание новой метановой отрасли обеспечит годовой экономический эффект равный $(210-25) \cdot 23 \cdot 10^9 \cdot 10^{-3} = 4,2 \cdot 10^9$ \$, где 210 – затраты на 1000 м³ импортного газа, \$ США; 25 – себестоимость добычи 1000 м³ метана из угольных пластов, \$ США; $23 \cdot 10^9$ – потребности Украины в импортном природ-

ном газе, м³. Окупаемость затрат составит ~ 2 года.

Представленные расчеты являются ориентировочными. Для более точного определения эффективности новой газовой отрасли необходимо разработать специальное «Технико-экономическое обоснование целесообразности создания в Украине новой газовой отрасли, основанной на добыче метана из угольных пластов» (ТЭО). В ТЭО необходимо учесть затраты на приобретение бурового оборудования, создание поверхностной газотранспортной системы, подготовку и обучение кадров, а также более точно определить запасы и ресурсы метана в Донецком угольном бассейне.

При этом необходимо создать опытное производство по добыче метана, в первую очередь на полях действующих передовых шахт Донбасса – ПАО «ШУ «Покровское», ГП «УК «Краснолиманская», ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько», а также на шахтах ООО «ДТЭК».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат, А.Ф. О перспективах развития в Украине отрасли по извлечению метана угольных месторождений / А.Ф. Булат // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2002. – Вып. 32. – С. 3-9.
2. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины: монография в 3-х т. Т. 2. Углегазовые и газовые месторождения Северо-Восточного Донбасса, ДДВ и Львовско-Волынского бассейна / А.В. Анциферов, А.А. Голубев, В.А. Канин [и др.]. – Донецк: Вебер, 2010. – 478 с.
3. Комплексное освоение газоносных угольных месторождений: монография / А.Т. Айруни, О.А. Галазов, И.В. Сергеев [и др.]. – М.: Наука, 1990. – 216 с.
4. Энергетика: история, настоящее и будущее: в 4 т. Т. 1: От огня и воды к электричеству / В.И. Бондаренко, Г.Б. Варламов, И.А. Вольчин [и др.]. – Киев, 2005. – 304 с.

REFERENCES

1. Bulat, A.F. (2002) "About prospects of development in Ukraine of branch on extraction of methane of coal deposits", *Geo-Technical Mechanics*, no. 32. – pp. 3-9.
2. Antsiferov, A.V., Golubev, A.A. and Kanin, V.A. (2010) *Gazonosnost i resursy metana ugolnykh basseynov Ukrainy, T. 2. Uglegazovyye i gazovyye mestorozhdeniya Severo-Vostochnogo Donbassa, DDV i Lvovsko-Volynskogo basseyna* [Gas content and resources of coal basin methane in Ukraine: Vol. 2. Coal gas and gas deposits of the North-Eastern Donbass, Dnieper Donets hollow and the Lviv-Volyn Basin], Veber, Donetsk, Ukraine.
3. Ayruni, A.T., Galazov, O.A. and Sergeyev, I.V. (1990) *Kompleksnoye osvoyeniye gazonosnykh ugolnykh mestorozhdeniy: monografiya* [Integrated development of gas-bearing coal deposits], Nauka, Moscow, Russia.
4. Bondarenko, V.I., Varlamov, G.B. and Volchin I.A. (2005) *Energetika: istoriya, nastoyashcheye i budushcheye: v 4 t. T. 1: Ot ognya i vody k elektrichestvu* / [Energy: history, present and future: in 4 vol. 1: From fire and water to electricity], Kiev, Ukraine.

Об авторе

Шейко Анатолий Васильевич, магистр, главный технолог в отделе проблем технологии подземной разработки угольных месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, igtmdep16@gmail.com.

About the author

Sheyko Anatoliy Vasilevich, Master of Science, Chief Technologist in Department of Underground Coal Mining, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (Polyakov IGTM NAS of Ukraine), Dnepr, Ukraine, igtmdep16@gmail.com.

Анотація. В даній роботі розглянуто метод визначення запасів метану у вуглепородному масиві Донецького кам'яновугільного басейну. В даному методі використовується

диференційований підхід визначення метановості вугілля, який заснований на оцінці запасів метану в вугільних пластах з використанням розбивки їх на класифікації: регіональну і глибинну. Також для визначення запасів метану даний метод враховує глибинну газової зональності, параметри вертикальної газової зональності, глибину зони газового вивітрювання; глибину зони газонасичення.

В даному методі розглядається розрахункова метановість вуглепородного шару, яка визначається як середньозважена по окремим глибинам і шарам вуглепородних товщ, а також подано визначення глибини залягання верхньої межі зони газонасичення для коксівного і пісного вугілля.

Ключові слова: запаси метану, вуглепородний масив, газонасичення.

Annotation. The article presents a method for determining methane reserves in the coal-rock massif of the Donetsk Coal Basin. This method applies a differential approach for determining methane content in the coals basing on estimation of methane reserves in the coal seams with dividing them into classes: regional and depth. In order to determine methane reserves, this method also takes into account depth of gas zoning, parameters of vertical gas zoning, depth of gas weathering zone and depth of gas-saturated zone.

With this method, calculated methane content in the thickness is considered, which is determined as average weight for individual depths and thicknesses of the coal-rock layer, and depth of the upper limit of gas content is shown for the coking and lean coals.

Keywords: methane reserves, coal-rock massif, gas saturation.

Статья поступила в редакцию 3.12.2017

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук К.К. Софийским