

значение тепловой мощности по каналу воздушного дутья ниже, чем для низкокалорийного. Несмотря на снижение расхода высококалорийного угля до 251 кг/ч (расход низкокалорийного угля составляет 393 кг/ч), прибыль от экономии угля в обоих вариантах остается практически одинаковой, что обусловлено более высокой стоимостью высококалорийного угля. Выполненный анализ показывает перспективность и целесообразность использования МВС в качестве воздушного дутья при сжигании угля любого состава.

Предложенный алгоритм расчета схем утилизации шахтного метана позволяет осуществить оптимизацию показателей работы энергетических модулей, шахтных котельных и газопоршневых установок, при переменных параметрах утилизируемого метана, а также может быть использован при разработке систем управления энергетическими модулями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Ф. Булат, И.Ф. Чемерис. К проблеме энерготехнологической переработки метана угольных месторождений. // Уголь Украины. – 2002. – № 5, С. 6 – 9.
2. А.Ф. Булат, И.Ф. Чемерис Направления энерготехнологической переработки метана угольных месторождений. // Геотехническая механика. Межведомств. сб. научн. трудов, вып. 32. 2002.– С. 67 – 74.
3. В.Г. Лаврик. Повышение эффективности использования попутного шахтного метана. // Известия ВУЗов. Горный журнал, 1996. – № 1. – С. 71-74.
4. А. с. 1703919 А1 (СССР). Способ подготовки к сжиганию в топке метановоздушной смеси с содержанием метана менее 30 % / Лаврик В.Г. Бюллетень Изобретений. – 1992. – № 1.
5. Е.А. Ельчанинов О промышленном использовании метана действующих и закрываемых шахт. // Уголь, 1997. – № 9. – С. 49-52.
6. В.И. Серов. Электроэнергетика угольной промышленности. // Уголь, 1992. – № 12. – С. 53-58.

УДК 533.981.2 (477.61/62)

А.В. Анциферов, А.А. Голубев,
М.Г. Тиркель (УкрНИМИ)

ГАЗОНОСНОСТЬ И УГЛЕНОСНОСТЬ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ДОНБАССА

Виконано дослідження газоносності, вугленосності та колекторських властивостей глибокозанурених відкладів Кальміус-Торецької мегасинклінали.

CAS AND COAL CONTENT IN DEEP LEVELS OF DONBASS

Research into gas, coal and reservoir properties of deep-lying formations of southeast part of the Kalmius-Toretskaya depression is made.

До глубин 1200–1500 м характер угленосности и газоносность углей в Донбассе изучены по многим тысячам скважин. Для исследования особенностей изменения угленосности, а главное – изучения природы угольных газов, условий и характера миграции и распределения их в угленосных отложениях на более глубоких горизонтах в Донбассе пробурен ряд параметрических скважин

глубиной до 3 км. Три из них: Очеретинская – К-900 (глуб. 2947 м), Макеевская – Щ-1027 (глуб. 2516 м) и Чистяковская – С-1379 (глуб. 2040 м) расположены в Донецкой области.

Основными задачами эксперимента было:

1. Бурение глубоких скважин новым опытным станком СКБ-8 и комплексные геолого-геофизические и лабораторные исследования углей, пород, пластовых вод и газов.
2. Изучение природных газов угольных пластов, их генезиса, компонентного и изотопного составов, форм нахождения и закономерностей распределения.

При этом исследованы:

- природная газоносность перебуренных угольных пластов;
- взаимосвязь газоносности угольных пластов с их сорбционной метаноемкостью;
- зависимость изменения газоносности, компонентного состава угольных газов и угленосности с глубиной и степенью метаморфизма (R_0);
- связь современной газоносности угольных пластов с подземными водами и геотермическими условиями и др.

Скважины вскрыли угленосные отложения свит верхнего и среднего карбона ($C_3^2-C_2^2$): К-900 – наименее метаморфизованные угли от длиннопламенных и газовых ($R_0 - 0,4-0,5$) до тощих ($R_0 - 2$) на максимальных глубинах до 3000 м, Щ-1027 - более метаморфизованные угли от газовых ($R_0 - 0,8-1,0$) до полуантрацитов ($R_0 - 3$) и С - 1379 – на глубинах более 2 км вскрыла антрациты от полуантрацитов до древних антрацитов ($R_0 - 3,0-5,5$). Практически исследована вся гамма углей от длиннопламенных до суперантрацитов $V^{daf} - 43,5-1,9 \%$, $R_0 - 0,4-5,5$).

Кроме газоносности углей детально изучались их газоемкость, а также качество, метаморфизм угольных пластов и прослоев, катагенез, теплофизические, коллекторские и физико-механические свойства пород, особенности гидрогеологических условий, геотермический режим и др.

Геолого-тектонические и геотермические условия

Все три параметрические скважины расположены на южном крыле Кальмиус-Торецкой котловины.

Очеретинская скв. К-900 – в западной части крыла на небольшом структурном выступе, называемом Очеретинским поднятием. Размеры выступа – $7 \times 2,5$ км, углы падения пород – $3-6^\circ$. В 11–12 км к юго-западу от скв. К-900 на поверхность карбона выходит Селидовский надвиг ($h - 210-385$ м), ветви которого пересечены скважиной на глубине 2500 м с амплитудой (h) – 31 м, на глубинах 2605–2636 м – $h - 10-15$ м. В целом же трещиноватость пород по скв. К-900 незначительна. Скважиной вскрыты свиты от C_3^2 до C_2^4 . Температура горных пород на глубине 2867 м составила $100,7^\circ\text{C}$.

Макеевская скв. Щ-1027 находится в восточной части южного крыла Кальмиус-Торецкой котловины в одном из пологих ($10-12^\circ$) блоков, заключенном между двумя крупными флексурами: Чайкинской – с запада и Калиновской – с востока. Амплитуды их соответственно составляют: 300–400 м – первой и до 1100 м – второй. Скважиной вскрыты свиты $C_3^1-C_2^3$, подсечен Восточный надвиг ($h - 20$ м) на глубине 1230 м. Трещиноватость пород по скв. Щ-1027 выше, чем по К-900. Температура на глубине 2420 м – $83,2^\circ\text{C}$.

Чистяковская скв. С-1379 расположена в западной части южного крыла Чистяковской синклинали. Ось ее вытянута на 50 км с пологим (до 5°) погружением в Кальмиус-Торецкую котловину. Углы падения пород в районе заложения скважины $20-25^\circ$ на север. Скважиной вскрыта угленосная толща пород свит $C_2^5-C_2^2$. Температура пород на глубине 2040 м составила $68,9^\circ\text{C}$.

У г л е н о с н о с т ь

Изучение угленосности преследовало две цели:

1. Выявить характер изменений общей и промышленной угленосности с увеличением глубины залегания.
2. Уточнить морфологию и качество рабочих угольных пластов на глубинах до 3 км.

Мощность, структура и зольность угольных пластов и пропластков установлена по комплексу бурения и каротажа, тонкие прослои (0,30–0,10 м) выявлялись по каротажу в масштабе 1:200, а их мощность и зольность – в масштабе 1:20 с погрешностью $\pm 0,05$ м (табл. 1).

Мощность угольных пластов невысокая, преобладают тонкие пропластки 0,1–0,2 м и пласты нерабочей мощности (0,30–0,45 м). Пластов кондиционной мощности (от 0,5 м до 1,5–2,0 м) по каждой скважине – от 16 до 21, суммарная мощность их составляет от 13,9 до 19,7 м, а совместно с тонкими пластами – от 31,0 до 39,0 м. Повышенной угленасыщенностью характеризуются свиты $C_2^5-C_2^7$. Такая высокая мощность угольной толщи может свидетельствовать о высоком газогенерационном потенциале всей Кальмиус-Торецкой котловины.

Г а з о н о с н о с т ь (м е т а н о н о с н о с т ь) у г л е й

Газоносность угольных пластов изучалась согласно Инструкции [1]. Согласно исследованиям Г.Д. Лидина и А.И. Кравцова [2, 3] в процессе геологического развития угольных бассейнов в угленосных отложениях формируется вертикальная газовая зональность за счет двух противоположно направленных непрерывных процессов: поступления с глубоких горизонтов к поверхности земли метаморфогенных газов, генерированных органической массой углей, и проникновения с земной поверхности атмосферных газов.

Встречаясь, газовые потоки образуют четыре основные газовые зоны: азотно-углекислую, азотную, азотно-метановую и метановую. Три верхние зоны на практике объединяют в одну зону г а з о в о г о в ы в е т р и в а н и я , основны-

ми компонентами которой являются азот и углекислый газ. Ниже зоны газового выветривания расположена зона метановых (или углеводородных) газов. Поверхность метановой зоны проводится по содержанию CH_4 - метана 80-100 % [1].

Таблица I - Характеристика угленосности по опорным скважинам

Свита	Мощность свиты, м	Кол-во и суммарная толщина пластов угля мощностью			Коэффициент угленосности по пластам мощностью			Средне-взвешен. зольность A^d , %
		более 0,60 м	0,59-0,45 м	0,44-0,10 м	более 0,60 м	более 0,45 м	более 0,10 м	
Очеретинская скважина К-900								
C_3^2	749	-	-	4/0,54	0,0	0,0	0,27	31,9
C_3^1	746	-	1/0,52	10/2,28	0,0	0,07	0,38	17,4
C_2^7	488	7/6,30	7/3,57	8/1,70	1,29	2,02	2,41	23,8
C_2^6	281	5/4,12	2/1,02	10/2,60	1,47	1,79	2,78	19,3
C_2^5	420	4/3,44	1/0,48	12/2,73	0,8	0,93	1,58	10,4
C_2^4	вскрыто 175,6	-	1/0,46	7/1,80	0,0	0,26	1,00	21,7
Итого	16/13,86 + 12/6,05 + 50/11,65 = 31 м							
Макеевская скважина Щ-1027								
C_3^1	549	1/0,86	0,0	8/1,38	0,15	-	0,40	15,2
C_2^7	595	5/4,18	3/1,66	15/3,98	0,70	0,98	1,65	16,6
C_2^6	322	6/6,19	1/0,58	12/3,58	1,76	2,10	3,22	25,4
C_2^5	509	8/7,57	1/0,50	14/3,79	1,49	1,58	2,33	23,8
C_2^4	316	0/0	2/1,13	5/1,76	0	0,37	0,91	
C_2^3	вскрыто 200	1/0,88	0/0	5/0,98	0,44	0	0,93	
Итого	21/19,68 + 7/3,87 + 59/15,47 = 39 м							
Чистяковская скважина С-1379								
C_2^5	656	9/8,29	5/2,77	13/3,27	1,26	1,67	2,19	27,5
C_2^4	362	1/0,93	0/0	11/2,99	0,26	0,26	1,08	30,8
C_2^3	672	6/6,28	1/0,50	17/4,32	0,92	1,01	1,63	27,5
C_2^2	вскрыто 155	-	-	4/1,14	0	0	0,74	24,5
Итого	21/19,68 + 7/3,87 + 59/15,47 = 39 м							

Наиболее мощная зона газового выветривания или дегазации наблюдается в скв. К-900, где в углях и пробах пластовых вод до глубин 1000–1100 м газ метан отсутствует или отмечаются лишь следы его. Поверхность метановой зоны в скв. Щ-1027 находится на глубинах 200–250 м, а в скв. С-1379 – всего на 150 м.

При углублении в метановую зону по скважинам К-900 и Щ-1027 наблюдается закономерное увеличение газоносности угольных пластов, но темп увеличения газоносности по первой скважине меньше, чем по второй. Так, в интервале глубин от 1000 до 2000 м газоносность угольных пластов свит $C_3^1 - C_2^7$ по скв. К-900 увеличивается с 2,4–7,0 до 10,7 м³/т с.б.м., а на глубинах 2600–3000 м в свитах $C_2^6 - C_2^4$ достигает 13,7–15,6 м³/т с.б.м. В то же время газоносность углей в скв. Щ-1027 имеет подобные значения на глубинах в 2 раза меньших, всего 1400–1500 м, а в интервале глубин 2000–2500 м, где пластовые давления достигают 20 МПа, т.е. близки гидростатическим, значения газоносности составляют 23,1–30,7 м³/т с.б.м., что почти в 2 раза выше, чем по первой скважине на глубине до 3 км. Последнее объясняется тем, что по второй скважине степень метаморфизма углей более высокая на гораздо меньших глубинах. Характерно, что в пределах глубин 1000–1200 м происходит постепенная смена водоносных горизонтов на газоводоносные, а затем газоносные без признаков пластовых вод.

Для сопоставления газоносности угольных пластов одинаковых стадий метаморфизма все данные были сгруппированы по рангам метаморфизма углей или данным R_0 витринита и для каждой группы определены средние значения газоносности с учетом глубин (табл. 2).

Таблица 2 - Газоносность равнометаморфных углей

Отражат. способность, витринит. - R_0 группа метаморфизма	Скв. К-900		Щ-1027		С- 1379	
	глубина (H),м	газонозн. (X), м ³ /т с.б.м.	глубина (H),м	газонозн. (X), м ³ /т с.б.м.	глубина (H),м	газонозн. (X), м ³ /т с.б.м.
<u>0,6-0,8</u> 2Г	580-1270	<u>2,4-7,0</u> 4,8	-	-	-	-
<u>0,8-1,0</u> 3Г	1270-1740	<u>4,7-9,2</u> 7,4	240-640	<u>4,5-9,8</u> 7,2		
<u>1-1,2</u> 4Ж	1740-2100	<u>8,5-10,7</u> 10,1	640-1000	<u>9,1-12,9</u> 11,1		
<u>1,2-1,5</u> 5К	2100-2450	<u>9,6-14,6</u> 11,7	1000-1340	<u>10,7-17,4</u> 13,0		
<u>1,5-1,9</u> 60С	2450-2900	<u>13,7-15,6</u> 14,6	1340-1660	<u>12,3-18,7</u> 15,7		
<u>1,9-2,5</u> 7Т	-	-	1660-2060	<u>16,4-23,1</u> 19,2		
<u>2,5-4</u> 8ПА-9ПА	-	-	2060-2516	<u>26,0-30,7</u> 28,0	200-860	25,7
<u>4,1-4,7</u> Ю-ИА	-	-	-	-	860-2000	25,2-1,2
<u>4,7-5,5</u> 12А ₂	-	-	-	-	2040	3,4-0,7

Средние значения газоносности равнометаморфных углей по обеим скважинам близки, несмотря на то, что глубины отличаются весьма существенно – на 1000–1200 м. Так, по скв. К-900 газовые угли ЗГ ($R_0 = 0,8-1,0$), залегающие на глубинах 1270–1740 м, имеют почти такие же значения газоносности, как и угли той же группы, залегающие в скв. Щ-1027 на глубинах 240–640 м, т.е. на глубинах 1030–1200 м и выше: соответственно в среднем 7,4 и 7,2 м³/т с.б.м. Аналогичная картина наблюдается и по остальным группам метаморфизма – 4Ж, 5К, 60С.

Следовательно, на увеличение метаноносности углей оказывает не столь существенное влияние современная глубина залегания, сколько увеличение степени их метаморфизма. Об этом же свидетельствует дальнейшее увеличение газоносности в тощих углях и малометаморфизованных антрацитах по скв. Щ-1027, где на глубинах 1660-2516 м средняя газоносность увеличилась с 15,7 до 28,0 м³/т с.б.м. Однако с дальнейшим увеличением метаморфизма антрацитов при переходе их к суперантрацитам вместо увеличения газоносности происходит резкое ее снижение, вплоть до нулевых значений, что четко видно по скв. С-1379, где на глубинах с 860 до 2040 м газоносность уменьшилась с 25,2 до 3,4–0,7 м³/т с.б.м.

Это необычное явление одни исследователи объясняют потерей суперантрацитами ($R_0 = 5,0-5,5$) генерирующей способности, другие – их древней дегазацией.

Характерно, что одновременно с уменьшением газоносности в древних антрацитах происходит и смена углеводородного состава газов с заменой метана азотом до 50–60 % с примесями водорода и углекислого газа. Указанные факты свидетельствуют об отсутствии поступлений углеводородных газов с более глубоких горизонтов и подтверждают факт метаморфогенного происхождения угольных газов.

Коллекторские свойства пород

Наряду с изучением газоносности углей исследовались коллекторские свойства и газоносность пород. Установлено, что главными факторами, определяющими пористость пород и прежде всего песчаников, являются степень катагенеза и глубина их залегания, совместное влияние которых приводит к резкому уменьшению пористости последних с 18–20 % в песчаниках, вмещающих угли марок Д–Г, до 3–4 % - при переходе углей марки К–ОС–Т и до 2 % в зоне метакатагенеза, т. е. в песчаниках, вмещающих полуантрациты и антрациты. На базе выявленной зависимости приведена схема изменения пористости пород по их степени катагенеза, определяющая вероятность встречи скоплений свободных газов. Газоносность песчаников колеблется от 0,2–0,3 до 1,0–1,5 м³/т пород. Максимальные значения в отдельных интервалах с улучшенными емкостными свойствами (за счет локального повышения пористости или развития трещиноватости) достигают 1,6–3,6 м³/т пород.

Эти три глубокие скважины представляют первый этап в изучении газоносности углей и пород юго-восточной окраины Кальмиус-Торецкой мега-синклинали. Вторым этапом намечалось бурение профиля глубоких (до 4,0–5,0 км) скважин в направлении от Очеретинской структуры через центральную (донную) часть Кальмиус-Торецкой котловины на замыкание Главной антиклинали для исследования свободных газов, наличие которых равновероятно как на указанной крупной антиклинали, так и в мега-синклинали, являющейся непосредственным продолжением Днепровско-Донецкой впадины, служащей крупной нефтегазоносной областью (провинцией).

Однако для выбора наиболее перспективной на наличие свободных скоплений газа площади в донной части Кальмиус-Торецкой котловины необходимо произвести сейсморазведочные работы, аналогичные проведенным УкрНИМИ на Первомайском куполе в Луганской области или Александровском куполе – в Донецкой.

Выводы

1. Газогенерационный потенциал угленосной толщи Кальмиус-Торецкой котловины весьма высок: суммарная мощность угольных пластов и пропластков на глубинах до 3 км составляет от 31,0 до 39,0 м.

2. Углеводородные газы имеют метаморфогенное происхождение, т.е. образовались за счет ОВ пород. Подтоков газа из нижележащих докарбонных образований на указанных глубинах не зафиксировано.

3. Компонентный состав угольных газов характеризуется преобладанием метана и его гомологов от 70–80 % до 95 % и более.

4. Поверхность метановой зоны или граница перехода атмосферных газов в метаморфогенные колеблется от 100–150 м до 1000–1200 м.

5. В угленосных отложениях Донбасса верхние горизонты водо- и газодоносны, нижние – в основном – газоносны. Притоков пластовых вод на глубинах более 800–1000 м почти нет.

6. Газоносность углей определяется их сорбционной способностью. В ряду углей от длиннопламенных ($R_0 = 0,4–0,6$) до антрацитов ($R_0 = 4,1–4,7$) она изменяется в пределах от 2,4 до 30,7 м³/т с.б.м. В суперантрацитах ($R_0 > 4,7$) происходит резкий спад газоносности вплоть до нулевых значений и смена метанового состава газов на преимущественно азотный и углекисло-азотный с примесями водорода.

7. Замеренные давления флюидов в угленосных отложениях близки гидростатическим, а температуры на глубинах 2,5–3 км составляют 70–100 °С.

8. Определена нижняя граница перспектив встречи свободных скоплений газа по степени метаморфизма органического вещества (ОВ). В гранулярных коллекторах – это песчаники, вмещающие угли марок Ж–К, где пористость снижается до 4–5 %.

9. Кальмиус-Торецкая котловина перспективна на наличие углеводородных газов и возможных свободных скоплений и месторождений, однако целена-

правленная постановка разведочных работ требует предварительного производства сейсморазведочных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах. М., Недра, 1977.
2. Кравцов А.И. Влияние геологических условий на газоносность угольных месторождений. Углетехиздат, 1950.
3. Лидин Г.Д. Факторы, определяющие современную газоносность угольных бассейнов. «Советская геология», № 8, 1949.