

**ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ
ГАЗА В УГЛЕРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИНАХ
ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА**

В матеріалах статті розглянуто перспективи застосування акустичного каротажу для прогностичної оцінки потенційних колекторів газу в вуглерозвідувальних свердловинах Донбасу.

**FORECAST EVALUATION OF POTENTIAL COLLECTORS
OF GAS IN COAL PROSPECTING BORE HOLESAS
OF ACOUSTIC LOGGING**

In material of article considered prospects of using acoustic logging for forecast evaluation of potential collectors of gas in coal borehole of Donbass.

В настоящее время в Украине важная роль отводится добыче природного метана на угольных месторождениях Донбасса.

Решение этой задачи позволит удовлетворить потребность нашей страны в одном из важнейших энергетических носителей, а также улучшить безопасность разработки угольных месторождений и в значительной степени предотвратить загрязнение окружающей среды.

При этом большое внимание отводится поисково-оценочным работам, на стадии которых проводится определение коллекторов газа, как для углей, так и пород. Важнейшей характеристикой углей и пород как коллекторов природных газов является пористость. Определение показателя пористости необходимо при решении задач, связанных с распределением газов в нетронутом массиве и во многом определяет не только газоемкостные свойства пород, но и их фильтрационную способность, связанную с миграцией и дегазацией газа. Поэтому одним из основных путей при разработке принципов прогноза потенциальных коллекторов газа является эффективная оценка пористости ($K_{0.п}$).

Существующие в настоящее время лабораторные методы определения пористости пород не могут обеспечить непрерывное определение ее по всему разрезу скважин, так как замеры производятся на образцах керна, отобранных в единичных точках. При этом определение пористости в лабораторных условиях требует больших затрат времени и средств. Дело в том, что для определения $K_{0.п}$ необходимо изготовление образцов по керновым пробам. Керновые пробы соответствуют только некоторым точкам разреза и отличаются от свойств пород в их естественном залегании. В отдельных случаях происходит потеря керна, или он оказывается непригодным для испытаний. Трудоемкость и дороговизна отбора керна, изготовление и испытание образцов не могут охватить все пробуренные скважины и, таким образом, не обеспечивают необходимую полноту исследований [1].

Для устранения этих недостатков целесообразно применять данные геофизических методов исследования скважин. В настоящее время разработаны ме-

тодики определения пористости по данным электрического, радиоактивного и акустического каротажа [2, 3]. Однако одним из перспективных геофизических методов для выделения потенциальных коллекторов газа, как показал опыт работы в нефтяных и газовых скважинах является акустический каротаж (АК). Использование АК для выделения коллекторов, главным образом, базируется на большом влиянии на кинематику и динамику упругих волн несплошности горных пород, обусловленной пористостью первичного и вторичного происхождения.

Наиболее часто встречаются коллектора так называемого смешанного типа. Поровое пространство последних представлено как порами первичного происхождения (межзерновая пористость), образовавшимися в процессе осадконакопления, так и порами вторичного происхождения (трещинами, кавернами, карстами), сформировавшимися на стадиях диагенеза и катагенеза под действием тектонических процессов, выщелачивания, перекристаллизации и уплотнения горных пород [4].

Выделение коллекторов по данным АК в нефтяных и газовых скважинах используется уже давно. В угольных скважинах это стало возможным только с разработкой серийных приборов типа «Парус-1» и «Парус-4» и др.

Акустический каротаж включен в комплекс геофизических методов исследования скважин и широко используется и Донецком бассейне.

Расчет коллекторских свойств по данным АК базируется на выявлении эмпирических зависимостей между скоростью распространения продольных волн (V_p), измеренной приборами акустического каротажа в углеразведочных скважинах с лабораторными определениями пористости пород.

Методика определения пористости по данным АК, изложена в руководстве [5]. Погрешность определения значений пористости составляет 2-2,5 %.

Использование этой методики позволяет по результатам акустического каротажа, в отличие от лабораторных определений, обеспечить непрерывное определение пористости по всему разрезу скважин. Это в свою очередь дает возможность использовать данные по пористости для подсчетов запасов газа в продуктивных пластах песчаника.

Оценка общей пористости по данным АК широко внедрена в практику геологоразведочных работ.

Результаты определения пористости представлены в сводных таблицах по физико-механическим свойствам и заключительных отчетах по каждому участку разведки или выносятся на каротажные диаграммы.

Однако в углеразведочных скважинах недостаточно определить пористость песчаника, так как газоносные и негазоносные песчаники могут характеризоваться почти одинаковыми значениями пористости.

Поэтому, чтобы установить является песчаник коллектором газа или нет, необходимо искать дополнительные критерии их оценки.

Как известно, наличие газа, в зависимости от вещественного состава и структуры песчаников, создает дополнительную нагрузку на скелет породы,

увеличивая тем самым дифференциальное давление, которое вызывает значительные внутренние напряжения. Последнее оказывает влияние на формирование локальных зон с повышенным напряженным состоянием. Повышенное напряженное состояние массива горных пород (песчаников) в свою очередь ведет к увеличению скорости распространения продольных волн [6]. Подтверждением этого являются результаты экспериментальных исследований, приведенные в работе [7], указывающие на то, что с увеличением содержания газа в породах, скорость распространения продольных волн возрастает. Учитывая то, что скорость распространения продольных волн является чувствительным индикатором на любые изменения в породах, поэтому в газоносных зонах V_p должна быть значительно выше, чем в негазоносных зонах.

Для подтверждения этого вывода были проведены следующие исследования. На поле шахты им. А.Г. Стаханова и участке разведки Северо-Родинский, которые расположены в Красноармейском геолого-промышленном районе, в песчаниках m_8Sm_9 , $m_6^2Sm_8$, $m_6^1Sm_6^2$, m_4Sm_6 , $m_4^HSm_4^B$, $l_8Sl_8^2$, L_7Sl_7 , l_4Sl_5 , K_7Sk_7 , $k_8^HSl_1$, k_8Sk_9 было проведено определение скорости распространения продольных волн в скважинных условиях.

В этих песчаниках при проведении регионального прогноза выбросоопасности горных пород был проведен отбор проб, по которым определены значения коэффициента открытой пористости и скорость распространения продольных волн по данным акустического каротажа.

Данные Ко.п, V_p были выбраны из заключений по выбросоопасности горных пород на участке разведки Северо-Родинский и поле шахты им. А.Г. Стаханова.

В табл.1 приведены сведения об объектах исследования, данные о количестве проб, отобранных из геологоразведочных скважин, по которым определялись значения пористости и скорость распространения продольных волн, определенных в скважинных условиях.

Таблица 1 -Данные о распределении проб, отобранных из геологоразведочных скважин на участке разведки Северо-Родинский и поле шахты им. А.Г. Стаханова

Геолого-промышленный район	Участок разведки, шахтное поле	Марка углей	Генетический тип песчаников	Количество проб
Красноармейский	Северо-Родинский	Г	Р	45
то же	то же	Г	ПВР	320
"	"	Г	ПМ	30
"	им. А.Г. Стаханова	Г	Р	11
"	то же	Г	ПВР	48
"	"	Г	ПМ	6

Как видно из табл.1 основное количество проб по фациальной принадлежности относится к подводным выносам рек (ПВР) и значительно меньшее количество к русловым (Р) и прибрежно-морским (ПМ).

Определение Ко.п, V_p проводились как в газоносных, так и в негазоносных

песчаниках. К газоносным песчаникам относятся прежде всего выбросоопасные песчаники. Как известно все выбросоопасные пласты песчаника высокогазоносные. Поэтому критерием разделения песчаников на газоносные и негазоносные явилась проведенная ранее оценка их выбросоопасности.

Исследования проводились по нескольким направлениям: определение средних значений Ко.п, V_p в пределах участка разведки и шахтного поля, определение Ко.п, V_p в газоносных и негазоносных песчаниках с учетом их фациальной принадлежности по отдельным скважинам и в пределах всего участка разведки и шахтного поля.

В табл.2 приведены средние значения Ко.п, V_p определенные в песчаниках на участке Северо-Родинский и поле шахты им. А.Г. Стаханова.

Таблица 2- Средние значения Ко.п, V_p на участке разведки Северо-Родинский и поле шахты им. А.Г. Стаханова

Участок разведки, шахтное поле	Марка угля	Коэффициент открытой пористости, %	Скорость распространения продольных волн, м/с
Северо-Родинский	Г	7,3	4380
шх. им. А.Г. Стаханова	Г	8,6	4331

Как видно из табл.2 средние значения пористости на участке разведки Северо-Родинский и поля шахты им. А.Г. Стаханова отличаются незначительно. Средние значения скорости распространения продольных волн, определенных в скважинных условиях как на участке Северо-Родинский, так и на поле шахты им. А.Г. Стаханова также имеют не существенные различия. Это говорит о том, что песчаники не претерпели значительных катагенетических преобразований, характеризуются высокими значениями пористости и могут являться потенциальными коллекторами газа. Однако, чтобы выделить по данным АК в каких именно песчаниках содержится газ, необходимо провести более детальные исследования.

С этой целью были проанализированы результаты исследований Ко.п, V_p на участке разведки Северо-Родинский и поле шахты им. А.Г. Стаханова с учетом их фациальной принадлежности. В табл. 3 приведены результаты исследований.

Анализ табл.3 подтверждает ранее полученные результаты исследований, что пористость песчаников, определенная по пробам как на участке разведки Северо-Родинский, так и на поле шахты им. А.Г. Стаханова для каждого генетического типа отличается незначительно и имеет тенденцию к уменьшению от русловых к прибрежно-морским песчаникам. Скорость распространения продольных волн, измеренная в скважинных условиях для каждого генетического типа также отличается незначительно и возрастает от русловых к прибрежно-морским песчаникам. Это объясняется, прежде всего, тем, что русловые песчаники, содержащие 50-70 % зерен кварца и характеризующиеся большой протяженностью контактов, обладают высокими упругими свойствами, им присуща способность к накоплению значительной энергии упругой деформации. Однако

прибрежно-морские песчаники с пониженным содержанием кварца обломочно-го и регенерационного характеризуются лучшей отсортированностью и степенью окатанности материала. Это способствовало в процессе осадконакопления и последующих катагенетических изменениях к созданию более плотной упаковки, слагающих песчаники частиц и привело к образованию песчаников с более высокими упругими свойствами, чем русловые. Этот факт необходимо учитывать при использовании V_p для определения коллекторов газа.

Однако, по данным, приведенным в табл.1 и табл. 3 в пределах участка разведки Северо-Родинский и поля шахты им. А.Г. Стаханова песчаники, в основном, относятся к фациям подводных выносов рек и значительно реже встречаются слои прибрежно-морских песчаников.

Таблица 3 – Средние значения $K_{0.п}$, V_p песчаников с учетом их фациальной принадлежности на участке разведки Северо-Родинский и поле шахты им. А.Г. Стаханова

Участок разведки, шахтное поле	Марка угля	Генетический тип песчаника	Коэффициент открытой пористости, %	Скорость распространения продольных волн, м/с
Северо-Родинский	Г	Р	9,5	4276
то же	Г	ПВР	8,7	4286
"	Г	ПМ	3,8	4580
шх.им.А.Г.Стаханова	Г	Р	12,1	4250
то же	Г	ПВР	9,7	4260
"	Г	ПМ	4,1	4485

Поэтому высокие значения V_p (4600-4800 м/с), которые характерны для прибрежно-морских песчаников, можно отнести к аномальным и для оценки газоносности не использовать.

Сравнивая V_p в песчаниках одного генетического типа, обращает на себя внимание то, что, например, в песчаниках l_4Sl_5 , $k_8^HSl_1$, K_9Sk_7 скорость распространения значительно выше, чем в песчаниках $m_6^1Sm_6^2$, $l_8Sl_8^2$. Это указывает на то, что в газоносных песчаниках, которыми являются песчаники l_4Sl_5 , $k_8^HSl_1$, K_9Sk_7 , скорость распространения продольных волн значительно выше, чем в негазоносных песчаниках, например, $m_6^1Sm_6^2$, $l_8Sl_8^2$.

Для подтверждения существенных различий средних и дисперсий значений V_p между газоносными (l_4Sl_5 , $k_8^HSl_1$) и негазоносными песчаниками ($m_6^1Sm_6^2$, $l_8Sl_8^2$) было проведено их статистическое сравнение по критерию Стьюдента (t-критерию) и критерию Фишера (F-критерию). Объем выборок при этом составлял 30 значений. Необходимо отметить, что для исследований были выбраны песчаники подводных выносов рек, пористость которых колеблется в пределах 7-10 %. Результаты статистической обработки приведены в табл. 4.

Как показали результаты исследований между газоносными ($k_8^HSl_1$, l_4Sl_5) и негазоносными песчаниками ($m_6^1Sm_6^2$, $l_8Sl_8^1$) наблюдаются существенные расхождения в средних значениях ($t_{расч.} > t_{табл.}$). При этом в дисперсиях существенных расхождений не наблюдается, за исключением песчаников $l_8Sl_8^1$ и $k_8^HSl_1$.

Таблица 4 - Статистическая оценка дисперсий и средних значений скорости распространения продольных волн в скважине для песчаников различной степени газоносности

Индекс песчаника	Среднее значение $V_{РАК} \times 10^3$, м/с	Дисперсия	Критерий Стьюдента $t_{РАСЧ.}$	Критерий Стьюдента $t_{ТАБЛ.}$	Критерий Фишера $F_{РАСЧ.}$	Критерий Фишера $F_{ТАБЛ.}$
$m_6^1 S m_6^2$	4,126	0,0072	12,8	2,04	1,18	1,85
$l_4 S l_5$	4,422	0,0085				
$m_6^1 S m_6^2$	4,126	0,0072	16,3	2,04	1,67	1,85
$k_8^H S l_1$	4,448	0,0043				
$l_8 S l_8^2$	4,262	0,0092	6,57	2,04	1,08	1,85
$l_4 S l_5$	4,422	0,0085				
$l_8 S l_8^2$	4,262	0,0043	8,77	2,04	2,13	1,85
$k_8^H S l_1$	4,448	0,0043				

Установленные существенные различия по средним значениям $V_{РАК}$ в газоносных и негазоносных песчаниках могут служить критерием для выделения потенциальных коллекторов газа по данным АК. Для более наглядного представления об изменении значений скорости распространения продольных волн в газоносных и негазоносных песчаниках было проведено разделение их по группам (табл. 5).

Таблица 5 - Пределы изменения скорости распространения продольных волн с учетом коэффициента открытой пористости в газоносных и негазоносных песчаниках

Группа	Пределы изменения коэффициента открытой пористости, %	Пределы изменения скорости распространения продольных волн, м/с	Содержание газа
I	7-10	4350-4550	высокое
II	7-10	4000-4350	низкое

Как видно из табл.5 по данным V_p выделяются две группы. К первой и второй группам относятся песчаники, пористость которых изменяется в одинаковых пределах (7-10 %), а скорость распространения продольных волн различна. К первой группе относятся песчаники, скорость распространения продольных волн которых изменяется в пределах 4350-4550 м/с. Это говорит о том, что такие песчаники могут являться потенциальными коллекторами газа. Вторая группа характеризует песчаники, скорость распространения продольных волн которых изменяется в пределах 4000-4350 м/с. Такие песчаники являются негазоносными. Необходимо отметить, что такое разделение носит больше качественный характер, чем количественный. Поэтому данные АК при определении потенциальных коллекторов газа могут являться дополнительной информацией, с привлечением других методов оценки газоносности.

Таким образом, применение данных акустического каротажа позволит получить более широкую информацию о пористости, а также эффективно использовать его для выделения потенциальных коллекторов газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байбатгаев А.Б. Применение геофизических методов для изучения литологии и физико-механических свойств угленосных пород в разрезах скважин /Геофизическое обеспечение бескернового бурения угольных скважин.- Ростов-на-Дону, 1976.-С.77-78.
2. Латышева М.Г., Вендельштейн Б.Н. Обработка и интерпретация материалов геофизических исследований скважин, -М.: Недра, 1975.-272 с.
3. Фейт Г.Н. Геомеханические и геофизические вопросы оценки перспективности извлечения метана из угольных пластов // Сокращение эмиссии метана.-Новосибирск, 2000.-С. 373-378.
4. Дзедзбань И.П. Акустический метод выделения коллекторов с вторичной пористостью. М.: Недра, 1981,-160 с.
5. Применение акустического каротажа для изучения физико-механических свойств терригенных пород каменноугольных отложений Донбасса, -Л.: НПО, Геофизика, 1974.-81 с.
6. Забигаило В.Е., Белый С. Геологические факторы разрушения керна при бурении нагруженных горных пород.- К.: Наукова думка, 1981,-179с.
7. Булатова Ж.М. Акустический каротаж.-Л.: Недра, 1970.-295 с.

УДК: 622.831:624.131 (043.3)

Канд. техн. наук Д.Л. Васильев
(ИГТМ НАН Украины)

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ОБРАЗЦОВ СЛАБЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ

В основу методу покладений критерій міцності Кулона і диференціальне рівняння граничного стану матеріалу з урахуванням зовнішнього тертя.

CALCULATION OF LIMIT OF TOUGHNESS OF SAMPLES OF WEAK ROCK AT ONE-AXIS COMPRESSION

In the base of method prescribed criterion of toughness of Column and differential equation of limiting condition of material with provision for external friction.

Одним из основных параметров, по которым производится оценка напряженно-деформированного состояния массивов горных пород и выбор силовых параметров горных машин, является предел прочности при одноосном сжатии.

В работе [1] проведена разработка метода расчета предела прочности пород с учетом внутреннего и внешнего трения, основанного на жестко-пластической модели теории линий скольжения, по которой принимается, что разрушение происходит при достижении по всей линии скольжения эффективных касательных напряжений по Кулону значений, равных постоянной пластичности k – сопротивляемости материала сдвигу. Однако, несмотря на совершенствование критерия Кулона с учетом внешнего трения, достичь высокой достоверности расчетного подхода с экспериментальными данными не удалось. Поэтому совершенствование метода расчета предела прочности требует дальнейшего продолжения. Данная статья подготовлена в соответствии с заданием госбюджетной темы 1.3.5.74 ИГТМ НАН Украины «Механика горных пород, техника и технология добычи угля высоконагруженными лавами».

В работе [2] предлагается исходить из условия предельного состояния, по