

УДК 550.3

І. В. ВАСИЛЬЄВА, геолог I категорії, аспірантка (Український державний геологорозвідувальний інститут), vasileva_iv1982@mail.ru

ОЦІНКА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ І ЯКОСТІ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ ЗА ДАНИМИ КОМПЛЕКСУ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СВЕРДЛОВИН

ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И КАЧЕСТВА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

Геофизические исследования буровых скважин при разведке угольных месторождений применяются для решения многих геологических задач, среди них: литологическое расчленение разреза, выделение пластов угля, определение глубины их залегания и углов падения пород, определение мощности, строения, зольности, качественных характеристик угля, синонимии угольных пластов, подсчет запасов. Точность геофизических определений физико-механических свойств пород оценивается по сопоставлению результатов, получаемых по данным геофизических исследований скважин (ГИС), и на образцах пород в лаборатории. В статье представлен обзор некоторых существующих методов определения зольности углей по результатам ГИС и прогноза горно-геологических условий разработки угольных месторождений.

Ключевые слова: геофизические исследования буровых скважин, угольные месторождения, физико-механические свойства пород, качественные характеристики углей.

I. V. Vasylieva, geology of the first category, a graduate student (Ukrainian State Geological Research Institute)

EVALUATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES AND QUALITY OF COAL SEAMS ON A COMPLEX GSW

Geophysical exploration wells during the exploration of coal deposits solve many geological problems. Among them: the lithological section subdivision, allocation of coal seams, the definition of the depth of their occurrence and the angles of incidence breeds, the definition of power, structure, ash, coal quality characteristics, determination of synonymy coal seams, and others. Data of GSW used in the calculation of coal reserves in the field. Precision geophysical definition of physical and mechanical properties of rocks is estimated by comparing the results obtained with the data of GSW, and rock samples in the laboratory. The article provides an overview of some of the existing methods of determining the ash content of coal on the results of GSW and forecast geological conditions of coal mining.

Keywords: geophysical research borehole, coal deposits, physical-mechanical properties of rocks, coal quality features.

История развития ГИС

Геофизические исследования скважин проводятся для решения в основном геолого-геофизических, технических, инженерно-гидрогеологических задач [2].

В истории развития ГИС можно выделить несколько этапов, каждый из которых характеризуется определенными научными и технологическими идеями и достижениями.

На начальном этапе (1906–1930 гг.) происходило становление первых методов геофизических исследований скважин. Так, геотермические измерения в артезианских, а затем и нефтяных скважинах начались в начале XX в. (1906–1916 гг.).

Первые измерения удельного электрического сопротивления в разведочных скважинах горных пород угольных месторождений относятся к 1921 году. Позже, в 1927–1929 гг., начались системные исследования разрезов нефтегазовых скважин с помощью метода сопротивлений, а с 1931 г. – методом самовольной (природной) поляризации горных пород [4].

В период 1930–1960 гг. были разработаны и внедрены электрические, электромагнитные, магнитные, ядерно-магнитные, ядерные, сейсмоакустические, термические, геохимические методы каротажа. Создана аппаратура с соответствующей методикой проведения исследований.

Одновременно с главными решались обратные задачи интерпретации.

Следующий этап (1960–1980 гг.) связан с революцией в области создания новейших средств вычисления, что позволило использовать разработки прикладной математики для решения прямых и обратных геолого-геофизических задач при совершенствовании уже существующих и создании новых методов ГИС. В этот период началось внедрение цифровой регистрации данных каротажа, а использование ЭВМ позволило повысить эффективность обработки и интерпретации материалов ГИС. Достижением этого этапа было также расширение комплекса ГИС за счет новых модификаций уже известных методов каротажа (индукционного, акустического, ядерного), а также создание новых методов исследования.

Современный этап истории ГИС обусловлен бурным развитием микроэлектроники, повышением надежности и функциональности скважинной аппаратуры, устранением технических ограничений на обработку огромных цифровых массивов исходной информации в режиме реального времени.

Новейшие технологии бурения прежде всего наклонно-направленных и горизонтальных скважин дали толчок развитию информационно-измерительных систем, позволяющих решать задачи геонавигации скважины и изучения

геологической среды методами ГИС непосредственно в процессе бурения [7].

Решение геологических задач с помощью ГИС

Геофизические исследования буровых скважин при разведке угольных месторождений применяются для решения следующих геологических задач:

- литологического расчленения разреза;
- выделения пластов угля и определения глубины их залегания;
- определения мощности, строения и зольности угольных пластов, а также определения характеристик качества углей;
- корреляции разрезов буровых скважин и определения синонимии угольных пластов;
- детального литологического расчленения разреза, определения физико-механических свойств и прогнозирования прочности и устойчивости пород кровли и почвы угольных пластов в горных выработках;
- определения углов падения пород;
- выделения в разрезах буровых скважин тектонических нарушений, определения их типа и амплитуды;
- определения гидрологических условий эксплуатации, изучения температурного и газового режима пород, технического состояния буровых скважин;
- изучения закономерностей изменения мощности, строения и зольности пластов угля по площади разведываемого месторождения (участка);
- изучения закономерностей изменения литологии, физико-механических свойств углевещающих пород, их прочности и устойчивости по площади месторождения.

Кроме того, данные ГИС применяются при подсчете разведанных запасов угля.

Для месторождений угля применяются типовые комплексы геофизических исследований угольных буровых скважин. Они разделяются на общие исследования по всему стволу с целью изучения разреза буровой скважины, выполняемые в масштабе глубин 1:500 или 1:200 (поисковый комплекс), и детальные исследования в интервалах залегания угольных пластов, выполняемые в масштабе глубин 1:50 и 1:20 (детализационный комплекс).

В интервалах залегания тонких угольных пластов (мощностью до 1,3 м), средней мощности (1,3–3,5 м) и пластов сложного строения детализационные исследования проводят в масштабе глубин 1:20, а в интервалах залегания более мощных пластов угля простого строения – в масштабах глубин 1:50.

Интервал детального каротажа должен охватывать не менее 3 м мощности вмещающих пород непосредственной кровли угольных пластов и 2 м непосредственной почвы. При детальных исследованиях кровли и почвы угольных пластов для всех месторождений угля обязательно применяются следующие методы ГИС:

- каротажа сопротивлений (КС);
- боковой каротажа (БК, БТК);
- гамма-каротажа (ГК);
- гамма-гамма-каротажа (ГГК);
- акустический каротажа (АК);
- диаметр скважины (ДС) [5].

Инклинометрия должна проводиться в разведочных буровых скважинах – вертикальных при глубинах более 300 м и наклонных при глубинах более 100 м. Результаты инклинометрии используют при построении геологических разрезов.

Термометрия проводится во всех буровых скважинах глубиной более 500 м. Результаты термометрии используются при оценке горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений.

При каждом виде каротажа выполняется определение удельного сопротивления промывочной жидкости по стволу буровой скважины.

Кроме того, из отдельных угольных пластов производится отбор керна боковыми стреляющими грунтоносами для уточнения или подтверждения мощности и строения пересечений угольных пластов, выделенных по комплексу ГИС, а также для отбора образцов угля и пород на химико-технологический анализ.

При исследовании буровых скважин в осложненных условиях, кроме основных геофизических методов, применяются дополнительные методы ГИС.

Сводная каротажная диаграмма поискового комплекса включает все диаграммы, геологический разрез буровой скважины по данным бурения и каротажа с указанием выхода керна, углов падения, наименования пластов, маркирующих горизонтов (рис. 1).

Сводная каротажная диаграмма детализационного комплекса составляется по каждому пересечению пласта и включает все диаграммы, разрез угольного пласта по дан-

Государственная геологическая служба Украины
 ГГП "Укргеофизика"
 Днепрпетровская геофизическая экспедиция
 Артемовская геофизическая партія
 разведка ГРПТ "Донецкгеология"
 участок п-щ Степная
 Скважина Д-63 П(Д-3)

Забой 460,3 м
 Диаметр 127 мм
 Обсадка 127 мм
 Каверномер КМ-2 № 82
 Дата 16.08.2011 г.
 Масштаб 1:200

Исследовано:
 ГК, ГГК, ДС, Гз, Пз
 Лаборатория СК-1-74 № 284

Скв. прибор БКР-3М № 15
 Источник Сз № 455 Q=1,4x10¹⁰ Бк
 Зонд ГГК-40 см

Метод измерения	Диаг. пазон	М.Б. код	Тип и № индик.	К-во инд.	t, сек.	V, м/час.	Условные обозначения
ГК, мР. час	IV	4	Сз1 30x160	1	1,5	900	—
ГГК, мР. мин	VIII	16	Сз1 24x40	1	1,5	900	—
ДС, мм		40				900	—
Гз, Ом		5	A2,25M			900	—
Пз, Ом		5	A2,25M			900	—

Начальник отряда: Кулагин В.В.

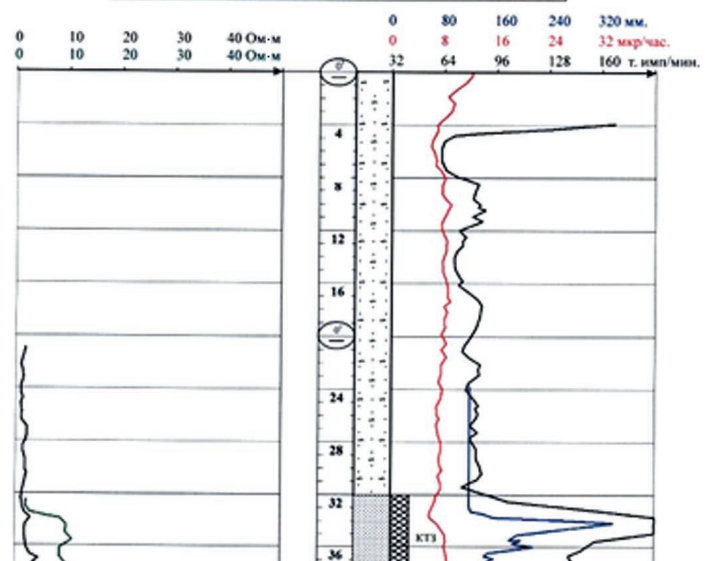


Рис. 1. Фрагмент сводной каротажной диаграммы поискового комплекса, скв. Д-63П, ш. "Степная"

ным бурения и каротажа. Указываются выход керна, углы падения, глубина отбора проб грунтоносами.

Оценка физико-механических свойств и качества угольных пластов по данным комплекса ГИС

Изучение геологического строения, идентификация угольных пластов, выявление тектонических нарушений, а также определение качественных характеристик угля выполняется на основе корреляции каротажных диаграмм поискового или детализационного комплекса ГИС.

По данным комплекса ГИС определяются мощности угольного пласта:

- общая – сумма мощностей угольных пачек и внутрипластовых породных прослоев;
- полезная – сумма мощностей только кондиционных угольных пачек;
- подсчетная – соответствует установленным на участке кондициям.

Зольность (содержание минеральных компонентов в угле) является основным показателем качества углей. По этому показателю устанавливаются кондиции для подсчета запасов. По предельному значению зольности, принятому для углей на данном участке разведки, производится разграничение углей и углистых пород.

Оценка зольности и других показателей качества углей (влажность, сернистость, выход летучих веществ и др.) может выполняться по химическому анализу керновых проб и данным ГИС. Возможно также комбинированное определение зольности по данным ГИС и отбора образцов пород.

Зольность и другие характеристики качества угля определяются с помощью корреляционных зависимостей между показателями качества угля и геофизическими параметрами (плотность, удельное электрическое сопротивление, естественная гамма-активность, эффективный атомный номер). Пример зависимости показателей зольности от плотности угля представлен на рис. 2.

Корреляционные зависимости между зольностью (и другими характеристиками качества угля) и геофизическими параметрами устанавливаются путем статистической обработки данных ГИС по пересечениям угольных пластов при полном выходе и хорошей сохранности угольного керна и при условии соответствия мощности и строения пласта по керну и каротажу.

Определение физико-механических свойств вмещающих пород выполняется для пород основной и непосредственной кровли и почвы угольных пластов.

Физико-механические свойства пород формируются в процессе накопления осадочного материала и его последующего метаморфизма. В результате метаморфизма осадоч-

ные породы изменяют свои физико-механические свойства. Степень этих изменений зависит от интенсивности и характера метаморфических процессов.

Физико-механические свойства оказывают значительное влияние на выбор конструкции скважины при бурении, породоразрушающего инструмента, способа вскрытия продуктивных пластов, а также на выбор типа и свойств буровых и тампонажных растворов.

Важное значение для ведения процесса бурения имеют проводимые в скважинах геофизические исследования, поэтому для эффективной интерпретации материалов этих исследований необходимо знать акустические, электрические, магнитные, радиационные свойства пород.

К основным физико-механическим свойствам вмещающих пород, определяющим горно-геологические условия эксплуатации угольных месторождений, относятся:

- пористость;
- минералогическая и объемная плотности;
- скорость распространения продольных и поперечных упругих волн;
- предел прочности на одноосное сжатие и одноосное растяжение;
- твердость по Шору;
- крепость по Протодюкову;
- модуль Юнга;
- коэффициент Пуассона;
- модуль всестороннего сжатия;
- модуль сдвига и др.

От качества выполненных геофизических исследований и их интерпретации зависит процесс ведения работ по добыче полезного ископаемого, минимизации затрат на дальнейшую доразведку и уточнение горно-геологических условий отработки угольного месторождения. Точность определений физико-механических свойств пород оценивается по сопоставлению данных ГИС и лабораторных определений [1].

Обзор некоторых существующих методов определения зольности углей по результатам ГИС

Определение зольности пластов угля по данным селективного микрогамма-гамма-каротажа (мГГК-С)

Данный метод заключается в установлении зависимости между геофизическим параметром и зольностью и является универсальным при определении зольности для угольных пластов простого строения и большой мощности. Однако несмотря на хорошие результаты метода мГГК-С, он имеет ограниченное применение в скважинах со сложными горно-техническими условиями. Зависимость геофизического параметра $I_{отн}$ от зольности имеет нелинейный характер, что приводит к определенным трудностям при интерпретации. Осложняющим фактором является и большая изрезанность итоговых кривых. В результате необходимо разбивать пласт на однородные пачки с коэффициентом вариации параметра не более 20 % и для каждой пачки определять зольность A^d по установленной зависимости. Средняя пластовая зольность вычисляется по формуле

$$A^d = \sum A_i^d \cdot h_i \cdot \delta_i / \sum h_i \cdot \delta_i,$$

где δ_i , h_i – плотность и мощность i -й пачки.

Определение зольности угольных пластов по комплексу геофизических методов: гамма-каротаж + электрический каротаж + кавернометрия (ГК + ок + КМ)

Изучив влияние состава минеральных примесей на геофизические параметры (интенсивность естественного гам-

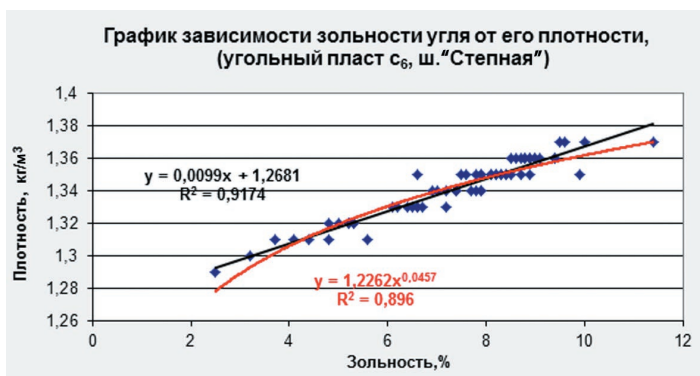


Рис. 2. Зависимость зольности угля от его плотности

ма-излучения – $\Gamma\gamma$, кажущуюся электропроводность – σ_k), ученые пришли к пониманию необходимости корректировки связи $A^d = f(\Gamma\gamma, \sigma_k)$ в зависимости от петрографического состава углей и изменения вещественного состава минеральных примесей в них. Так, с уменьшением содержания кремнезема и увеличением содержания каолинита в угле возрастает его проводимость. Естественная радиоактивность угля возрастает с увеличением содержания в нем фюзенита. Поэтому для учета факторов влияния используются многофункциональные связи зольности углей с геофизическими параметрами.

Прогноз горно-геологических условий разработки угольных месторождений

Качественный прогноз горно-геологических условий угольных месторождений зависит от применяемых геофизических методов. Поэтому ГИС проводятся в обязательном порядке во всех скважинах и могут использоваться на протяжении всего периода работы шахты. При этом сопоставление измеренных геофизических параметров во времени может дать эффективную информацию об изменении свойств массива горных пород в связи с техногенным воздействием [6].

В пределах массива горных пород каждый литологический тип характеризуется не только определенным гранулометрическим составом, соотношением глинистого, карбонатного и кластического материала, но и определенной степенью вторичных (эпигенетических) изменений их физических свойств. Интерпретация материалов геофизических исследований углеразведочных скважин осуществляется на основе петрофизических закономерностей, установленных в параметрических скважинах.

Физико-механические свойства (ФМС) горных пород и скорость распространения упругих волн в них зависят в основном от одних и тех же факторов, однако проявляются они неодинаково. ФМС пород в меньшей степени зависят от вещественного состава кластического материала, а определяются в основном типом и составом цемента, сцементированностью зерен литотипов, структурно-текстурными особенностями зерен горных пород. Наиболее объективные сведения о физико-механических свойствах массива можно получить при изучении их в естественном залегании с использованием данных ГИС.

Акустические параметры характеризуют закономерности распространения в породах знакопеременных упругих деформаций, поэтому они имеют тесные корреляционные связи с физико-механическими свойствами и функционально связаны между собой.

Объемная плотность δ_0 определяется по данным плотностного гамма-гамма-каротажа. Данные гамма-каротажа позволяют оценить глинистость и литологический состав, которые оказывают основное влияние на прочностные свойства горных пород, слагающих разрезы скважин. С прочностными свойствами пород коррелирует также их способность к разрушению при бурении, что находит свое косвенное отображение в изменении фактического диаметра скважин. Поэтому данные кавернометрии об изменении диаметра скважины в процессе бурения можно рассматривать как интегральную характеристику прочностных свойств пород.

Для уточнения литологического состава и зон дробления горных пород применяется каротаж магнитной восприимчивости [3].

Заключение

Разработка и внедрение в практику геологоразведочных работ на угольных месторождениях указанных выше методик и технологий позволяют поднять на новый уровень оценку показателей качества углей, физико-механических свойств вмещающих пород и прогноз устойчивости боковых пород в горных выработках.

Сегодня существует много компьютерных геологических программ, способных с точностью провести расчет и вывести окончательные результаты в кратчайшие сроки. Высокая эффективность применения интеллектуальных методов анализа данных признана геофизиками всего мира. В дальнейшем постоянное развитие науки и технологий будет еще больше влиять на оптимизацию и совершенствование методов интерпретации геофизических данных, что положительно отразится не только на качестве разведывательных работ, но и на их стоимости и сроках выполнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геофизические методы исследования скважин. Справочник геофизика/Под ред. В. М. Запорожца. – М.: Недра, 1983. – 591 с.
2. Горбачев Ю. М. Геофизические исследования скважин. – М.: Недра, 1990. – 298 с.
3. Гриб Н. Н., Никитин В. М. Изучение показателей качества угля и горно-геологических условий разработки угольных месторождений по результатам геофизических исследований скважин. Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета, г. Нерюнгри. Академия наук Республики Саха (Якутия), г. Якутск//Наука и образование. – 2015. – № 4. – С. 34–40.
4. Дахнов В. Н. Электрические и магнитные методы исследования скважин. – М.: Недра, 1981. – 344 с.
5. Дьяконов Д. И., Леонтьев Е. И., Кузнецов Г. С. Общий курс геофизических исследований скважин. – М.: Недра, 1984. – 432 с.
6. Каргаполов А. А., Макеев С. Ю., Свистун В. К., Гуня Д. П. Комплексное использование геолого-геофизических методов для выделения зон скопления метана//Сборник научных трудов “Геотехническая механика”. – 2012. – Вып. 102. – С. 147–153.
7. Курганський В. М., Тишаев І. В. Електричні та електромагнітні методи дослідження свердловин: Навчальний посібник. – К.: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2011. – 175 с.

REFERENCES

1. Geophysical methods of wells research. Directory geophysics/Red. V. M. Zaporozhca. – Moskva: Nedra, 1983. – 591 p. (In Russian).
2. Gorbachev Ju. M. Geophysical exploration of wells. – Moskva: Nedra, 1990. – 298 p. (In Russian).
3. Grib N. N., Nikitin V. M. Study of coal quality parameters and geological conditions of coal mining on the results of well logging. Technical Institute (branch) of the North-Eastern Federal University, Neryungri. The Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk// Nauka i obrazovanie. – 2015. – № 4. – P. 34–40. (In Russian).
4. Dahnov V. N. Electric and magnetic methods for wells. – Moskva: Nedra, 1981. – 344 p. (In Russian).
5. Djakonov D. I., Leontev E. I., Kuznecov G. S. The general course of well logging. – Moskva: Nedra, 1984. – 432 p. (In Russian).
6. Kargapolov A. A., Makeev S. Ju., Svistun V. K., Gunja D. P. Integrated use of geological and geophysical methods to isolate zones of methane accumulations//Sbornik nauchnyh trudov “Geotekhnicheskaja mehanika”. – 2012. – Iss. 102. – P. 147–153. (In Russian).
7. Kurhanskyi V. M., Tishaiev I. V. Electrical and electromagnetic methods holes: The Manual. – Kyiv: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr “Kyivskyi universytet”, 2011. – 175 p. (In Ukrainian).

Р у к о п и с о т р и м а н о 14.09.2016.