

УДК 550.3

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.32-35>

I. В. ВАСИЛЬЄВА, провідний геолог (Український державний геолого-розвідувальний інститут), vasilieva1982@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5487-9896>

I. VASILEVA, lead geologist (Ukrainian State Geological Research Institute), Kyiv, Ukraine, vasilieva1982@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5487-9896>

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СВЕРДЛОВИН ПІД ЧАС ВИЗНАЧЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВУГІЛЛЯ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГЛЕВМІСНИХ ПОРІД

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕЙ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

APPLICATION OF GEOPHYSICAL RESEARCH OF WELLS IN DETERMINING THE QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF COALS AND PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF CONTAINING ROCKS

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

Геофізичні розвідувальні свердловини під час розвідки родовищ вугілля вирішують багато геологічних проблем. З-поміж них: розчленування літологічного розрізу, виділення вугільних пластів, визначення глибини їхнього залягання та кутів падіння порід, визначення потужності, будови, зольності, якісних характеристик вугілля, визначення синоніміки вугільних пластів та ін. Дані геофізичних досліджень свердловин (ГДС) використовують також, підраховуючи запаси вугілля на родовищі. Точність геофізичного визначення фізичних і механічних властивостей гірських порід оцінюють, порівнюючи отримані результати за даними ГДС і дослідження зразків гірських порід у лабораторії.

ГДС використовують для розв'язання таких геологічних проблем: літологічне розчленування товщі; розподіл вугільних пластів і визначення їхньої глибини; визначення товщини, структури та зольності вугільних пластів, а також визначення характеристик якості вугілля; виділення тектонічних розломів у розрізі свердловин, визначення їхнього типу та амплітуди; визначення гідрологічних умов експлуатації, вивчення температурного та газового режиму гірських порід, технічного стану свердловин.

Крім того, дані ГДС визначають й уточнюють параметри та кондиції розрахунку розвіданих запасів вугілля.

Інтерпретація геофізичних даних – це уточнення та пояснення отриманої інформації щодо геології ділянки та фізико-механічних властивостей об'єкта. Її рішення має велике практичне значення для пошуків і розвідки родовищ корисних копалин.

У статті надано огляд деяких наявних методів визначення зольності вугілля за результатами ГДС і прогнозування геологічних умов видобутку вугілля.

Ключові слова: геофізичні дослідження свердловин, вугільні родовища, фізико-механічні властивості порід, якісні характеристики вугілля, інтерпретація геофізичних даних.

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.

Geophysical surveys of boreholes are used to solve the following geological problems: lithological dissection of the section; allocation of coal seams and determination of their depth; determining the thickness, structure and ash content of coal seams, as well as determining the characteristics of coal quality; highlighting tectonic faults in borehole sections, determining their type and amplitude; determination of hydrological operating conditions, study of the temperature and gas regime of rocks, technical condition of boreholes.

In addition, GIS data is used to calculate the explored coal reserves.

Interpretation of geophysical data is the clarification and explanation of the information received regarding the geology of the site and the physical and mechanical properties of the object. Interpreting geophysical data is challenging. Its solution is of great practical importance for the prospecting and exploration of mineral deposits. 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.

Геофизические исследования скважин (ГИС) широко используются в комплексе решений геолого-геофизических, технических, инженерно-гидрогеологических задач и являются основой для определения физико-механических свойств пород, вмещающих угольные пласты [2].

В истории развития различных методов ГИС можно выделить несколько этапов, каждый из которых характеризуется определенными научными и технологическими идеями и достижениями [5].

На начальном этапе (1906–1930 гг.) происходило становление первых методов геофизических исследований скважин.

Например, геотермические измерения начали проводиться в XX в. (1906–1916 гг.).

Первые измерения удельного электрического сопротивления в разведочных скважинах горных пород угольных месторождений относятся к 1921 году [5]. Позже они дополнились комплексом необходимых геофизических исследований, среди которых гамма-каротаж, акустический каротаж и др.

В период 1930–1960 годов разработаны и внедрены электрические, электромагнитные, магнитные, ядерно-магнитные, ядерные, сейсмоакустические, термические, геохимические методы каротажа. Создана аппаратура с соответствующими

щей методикою проведення досліджень. Одночасно з головними вирішувалися обернені задачі інтерпретації.

Слідуючий етап (1960–1980 гг.) зв'язаний з революцією в області створення новітніх засобів обчислення, що дозволило використовувати розробки прикладної математики для рішення прямих і обернених геолого-геофізических задач при удосконаленні вже існуючих і створенні нових методів ГИС.

Сучасний етап історії ГИС обумовлений бурним розвитком мікроелектроніки, підвищенням надійності і функціональності скважинної апаратури, усуненням техніческіх обмежень на обробку величезних цифрових масивів вихідної інформації в режимі реального часу.

Новітні технології буріння, зокрема, нахилно-направлених і горизонтальних скважин, дали толчок розвитку інформаційно-вимірних систем, що дозволяють вирішувати задачі геонавігації скважини і вивчення геологічної середовища методами ГИС безпосередньо в процесі буріння [3].

Геофізическі дослідження бурових скважин при розвідці вугільних родовищ використовуються для рішення наступних геологіческіх задач: літологіческіх розчленувань розрізу; виділення пластів вугля і визначення глибини їх залягання; визначення потужності, будови і зольності вугільних пластів, а також визначення характеристик якості вугілля; виділення в розрізах бурових скважин тектоніческіх порушень, визначення їх типу і амплітуди; визначення гідрологіческіх умов експлуатації, вивчення температурного і газового режиму порід, техніческіх станів бурових скважин.

Крім того, дані ГИС використовуються при підрахунку розвіданих запасів вугілля.

Для родовищ вугля використовуються типові комплекси геофізическіх досліджень вугільних бурових скважин. Вони розділяються на загальні дослідження по всьому стволу з метою вивчення розрізу бурової скважини, виконувемі в масштабі глибин 1:500 або 1:200 (пошуковий комплекс), і детальні дослідження в інтервалах залягання вугільних пластів, виконувемі в масштабі глибин 1:50 і 1:20 (деталізаційний комплекс).

В інтервалах залягання тонких вугільних пластів (потужністю до 1,3 м), середньої потужності (1,3–3,5 м) і пластів складної будови деталізаційні дослідження проводяться в масштабі глибин 1:20, а в інтервалах залягання більш потужних пластів вугля простого будови – в масштабах глибин 1:50 [1].

Інтервал детальної каротажа повинен охоплювати не менше 3 м потужності вмещаючих порід безпосередньої кровлі вугільних пластів і 2 м безпосередньої ґрунту. При детальних дослідженнях кровлі і ґрунту вугільних пластів для всіх родовищ вугля обов'язково використовуються наступні методи ГИС: каротаж опору (КС); боковий каротаж (БК, БТК); гамма-каротаж (ГК); гамма-гамма-каротаж (ГГК); акустичний каротаж (АК); діаметр скважини (ДС) [5].

Інклінометрія повинна проводитися в розвідочних бурових скважинах – вертикальних при глибинах більш 300 м і нахилних при глибинах більш 100 м. Термометрія проводиться во всіх бурових скважинах глибиною більш 500 м. При кожному виді каротажа виконується визначення удільного опору промислової рідини по стволу бурової скважини.

Крім того, з окремих вугільних пластів виробляється відбір ядра боковими стріляючими ґрунтоносами для уточнення або підтвердження потужності і будови перерізів вугільних пластів, виділених по комплексу ГИС,

а також для відбору зразків вугля і порід на хіміко-технологічний аналіз.

При дослідженні бурових скважин в складних умовах, крім основних геофізическіх методів, використовуються додаткові методи ГИС [8].

Сводна каротажна діаграма пошукового комплексу включає всі діаграми, геологічний розріз бурової скважини по даним буріння і каротажа з вказанням виходу ядра, кутів падіння, найменування пластів, маркуючих горизонтів.

Сводна каротажна діаграма деталізаційного комплексу складається по кожному перетині пласта і включає всі діаграми, розріз вугільного пласта по даним буріння і каротажа. Вказуються вихід ядра, кути падіння, глибина відбору проб ґрунтоносами.

Вивчення геологіческіх будов, ідентифікація вугільних пластів, виявлення тектоніческіх порушень, а також визначення якості характеристик вугілля виконуються на основі кореляції каротажних діаграм пошукового або деталізаційного комплексу ГИС [6].

По даним комплексу ГИС визначаються потужності вугільного пласта:

- загальна – сума потужностей вугільних пачок і внутріпластових породних прослоїв;
- корисна – сума потужностей тільки умовних вугільних пачок;
- підрахункова – відповідає установленій на ділянці умовам.

Потужність, будова і глибина залягання вугільних пластів визначаються по даним методів ГК, ГГК, БТК і БК. Геофізическі діаграми будуються в масштабах глибин 1:50 і 1:20. Крім того, точність визначення даних параметрів контролюється відбором проб ґрунтоносами різного типу з інтервалом від 2,5 до 10 см.

Зольність (вміст мінеральних компонентів в вуглі) є основним показником якості вугілля. По цьому показнику встановлюються умови для підрахунку запасів. По граничному значенню зольності, прийнятому для вугілля на даній ділянці розвідки, виробляється розмежування вугілля і вугілистих порід.

Оцінка зольності і інших показників якості вугілля (вміст, сернистість, вихід летючих речовин і др.) може виконуватися по хімічному аналізу ядерних проб і даним ГИС. Можливо, також комбінований визначення зольності по даним ГИС і відбору зразків порід.

Зольність і інші характеристики якості вугілля визначаються з допомогою кореляційних залежностей між показниками якості вугілля і геофізическіми параметрами (щільність, удільне електрическіе опору, естесвенна гамма-активність, ефективний атомний номер).

Кореляційні залежності між зольністю (і іншими характеристиками якості вугілля) і геофізическіми параметрами встановлюються шляхом статистическіої обробки даних ГИС по перетинах вугільних пластів при повному виході і хорошій збереженості вугільного ядра і при умові відповідності потужності і будови пласта по ядру і каротажу.

Визначення зольності пластів вугля по даним селективного гамма-гамма-каротажа (ГГК-С)

Даний метод дозволяє провести порівняльну характеристику щільності вивчаємих порід і встановити залежності між геофізическім параметром і зольністю; є універсальним при визначенні зольності для вугільних пластів простого будови і великої потужності. Од-

нако, несмотря на хорошие результаты метода ГГК-С, он имеет ограниченное применение в скважинах со сложными горнотехническими 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 + КС + ДС)

В гамма-каротаже (ГК) – регистрируется естественное γ -излучение и определяется его интенсивность. Основные задачи – выявление радиоактивных пород в разрезе скважины и литолого-стратиграфическое расчленение осадочных толщ по содержанию глинистой фракции. Данные ГК хорошо коррелируются с каротажем ПС. Скважинный снаряд рассчитан на измерение как естественного, так и вызванного γ -излучения.

Электрический каротаж – наиболее развитый и широко применяемый вид ГИС [4]. Имеет следующие основные модификации.

Каротаж на постоянном токе – измеряют кажущееся удельное электрическое сопротивление (каротаж КС) и потенциалы спонтанной поляризации (каротаж ПС). Физические основы – дифференциация горных пород по удельному электрическому сопротивлению и самопроизвольно возникающим в скважине потенциалам электрохимических процессов. Каротаж ПС позволяет наиболее простым способом определять границы горных пород, но в разной геологической обстановке критерии его интерпретации могут меняться.

Кавернометрия – определяет горизонтальное сечение скважины по 3...4 радиусам рычажно-электрическим способом; позволяет уточнить разрез скважины (размыв в глинистых породах), получить данные для интерпретации БКЗ и НК, технические данные для процесса бурения.

Изучив влияние состава минеральных примесей на геофизические параметры (интенсивность естественного гамма-излучения – I_γ , кажущуюся электропроводность – σ_k), ученые пришли к пониманию необходимости корректировки связи $A^d = f(I_\gamma, \sigma_k)$ в зависимости от петрографического состава углей и изменения вещественного состава минеральных примесей в них. Так, например, 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.

Изучение физико-механических свойств углевмещающих пород.

Определение физико-механических свойств углевмещающих пород осуществляется по данным акустического каротажа (АК). Регистрация диаграмм в поисковом масштабе 1:200 выполняется по всему разрезу карбоновых отложений. В детализационном масштабе 1:50, 1:20 исследуется кровля (20 м) и подошва (10 м) основных угольных пластов.

По данным акустического каротажа определяются следующие физико-механические параметры пород: предел прочности при одноосном сжатии, предел прочности при

растяжении параллельно слоистости, общая пористость, разновидности плотности, статический модуль Юнга и другие. Кроме этого, в разрезах скважин определялись интервалы “ослабленных” (трещиноватых, комковатой структуры, расслоенных) пород. Материалы АК сопоставляются и привязываются к стандартному комплексу методов ГИС.

Геофизические исследования разреза скважины выполняются с помощью различных методов, специальных приборов и оборудования. Интерпретируя полученные данные специалисты, получают определенную информацию о литологии разреза, о расчленении горных пород, их физических свойствах и т. п. [9].

Интерпретация геофизических данных – это уточнение и объяснение полученной информации, касающейся именно геологии участка и физико-механических свойств объекта. Интерпретация геофизических данных может быть качественной и количественной.

При качественной интерпретации по графикам, разрезам, картам распределения параметров определяют вероятное положение исследуемых объектов в геологическом разрезе.

При количественной интерпретации определяют геометрические параметры нужных объектов (размеры, форму, глубину залегания) и физические свойства объектов. Количественная интерпретация – это, в первую очередь, решение так называемых прямых и обратных задач.

Главной задачей является предоставление конкретных выводов о геологическом строении площадки исследования (отдельного района). Проводя инженерно-геологические изыскания необходимо учитывать эти данные для получения более подробной и разносторонней информации об участке.

Интерпретация геофизических данных основана на прямой связи между геофизическими аномалиями и геологическими факторами. Благодаря этим двум направлениям можно объяснить то или иное поведение грунтовых масс и горных пород в отдельном районе, а также спрогнозировать появление на участке исследования опасных процессов техногенного характера.

В наиболее простых случаях интерпретация достигается путем выделения и корреляции особенностей геофизического поля, с привлечением контрольных геологических данных по скважинам и др.

В более сложных ситуациях для интерпретации применяется математический подход. Он требует совместной обработки и согласованного объяснения разнородных данных, которые делятся на три категории:

1. Графики, карты геофизических аномалий, годографы, вариационные кривые и т. п.
2. Карты, вариационные диаграммы, сведения о физических параметрах.
3. Опорные и контрольные геологические данные о глубине залегания отдельных горизонтов, вскрытых скважинами, о доминирующем простирании пликативных и разрывных структур и т. п.

В любом случае необходимо учитывать все полученные данные для правильной и точной интерпретации в результате исследования. Инженерные изыскания только в комплексе позволяют получить всю необходимую геологическую характеристику участка исследования.

С учетом геологических условий строится модель распределения физических параметров горного массива. Модель связывает между собой разные стороны изучаемых параметров, но оставляет свободными некоторые переменные (глубину расположения геологической границы, ориентацию разрывов и т. п.). В рамках принятой модели ищется решение, обеспечи-

вающее лучшую сходимость вычислительных и измеряемых величин. В случае недопустимых расхождений решения с контрольными данными модель усложняется или заменяется. При исследовании верхних горизонтов земной коры, поисках и разведке месторождения, установлении физических свойств горных пород интерпретируются данные всех методов полевых и скважинных геофизических исследований.

Интерпретация данных является неотъемлемой частью геофизических исследований, поскольку многие геологические процессы можно объяснить только после получения конкретных данных и сравнить их с установленными стандартами в том или ином районе, что позволяет сделать прогноз геологической модели местности (участка).

Интерпретация геофизических данных – это сложная задача, решение которой имеет важное практическое значение для поиска и последующей разведки месторождений полезных ископаемых. Геофизика входит в число геологоразведочных работ, проводимых с целью выявления и оценки запасов минерального сырья. С ее помощью удается решать задачи, связанные с поиском и разведкой угольных месторождений. [10].

Интерпретация геофизических данных осуществляется с помощью математического и физического моделирования процессов, методов статистического анализа, решения систем нелинейных петрофизических уравнений и других линейно-статистических методов. Таким образом, ГИС и последующая их интерпретация основывается на широком спектре данных, учитывает все геологические факторы и связи между ними и геофизическими параметрами.

Использование ГИС при разведке, доразведке угольных месторождений, установлении и корректировке кондиций при подсчете запасов, определении горно-геологических условий отработки месторождения позволяет минимизировать затраты на получение необходимой информации, детализировать общую модель месторождения, удешевить процесс сбора и обработки данных.

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 углей 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”. – Днепропетровськ, 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.
8. <https://pstu.ru/files/file/gnf/gis.pdf>.
9. <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
10. <http://www.geokniga.org/books/2654>.

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. Griб 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. (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”. – Dnipropetrovsk, 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 “Kyivskiy universytet”, 2011. – 175 p. (In Ukrainian).
8. <https://pstu.ru/files/file/gnf/gis.pdf>.
9. <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
10. <http://www.geokniga.org/books/2654>.

Рукопис отримано 3.07.2020.

**ШАНОВНІ НАУКОВЦІ
З ГЕОЛОГІЧНОГО НАПРЯМУ!**

Запрошуємо вас до співпраці.
Пропонуємо сторінки нашого видання для висвітлення ваших наукових досліджень.

У цьому році журнал у котре підтвердив свій **високий науковий рівень**, пройшовши перереєстрацію наукових фахових видань України **атестаційною комісією МОН**.

Йому надано категорію «Б» з геологічної (17.03.2020 р.) і технічної (17.03.2020 р.) галузей науки за спеціальностями:

- 103** – науки про землю,
- 184** – гірництво,
- 185** – нафтогазова інженерія та технології.

Редколегія журналу
«Мінеральні ресурси України»