

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИКИ ЭРО-ПРО ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Шевелева О. Д.
ООО «Геология резервуара»

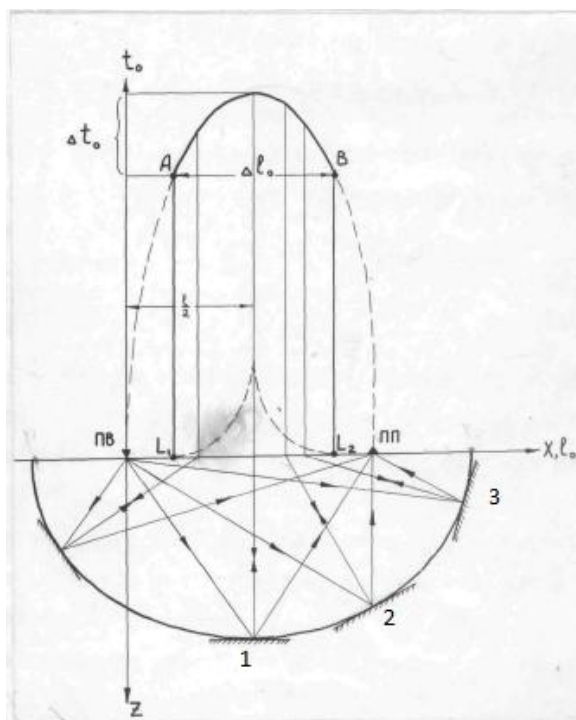
Целью каждого обработчика является построение сейсмического изображения, максимально приближенного к реальной геологической среде. Важнейшей задачей на пути является выделение полезного сигнала на фоне волн-помех. Большинство обрабатывающих систем основано на суммировании по ОГТ. Данный способ имеет ряд преимуществ, чем и заслужил своё повсеместное применение на практике: в процессе накопления полезные волны суммируются синфазно, помехи – кратные, микросейсмические и др. – гасятся, если не являются регулярными. Недостатками данного метода являются:

- невозможность изменения средней скорости вдоль годографа;
- недостаточная информативность в сложных геологических условиях, необходимость миграции;
- априори равные значения скорости падающего и отражённого луча;
- существование области закритических отражений, не обладающей в этом методе информативностью;
- приведение годографа к гиперболическому, хотя он таким не является вследствие преломления сейсмического луча на отражающей границе.

Одним из альтернативных способов является формирование сейсмических разрезов на основе метода эллиптической развёртки отображений.

Рисунок 1 – Схема поиска положения отражающей границы в методе ЭРО-ПРО

Метод впервые был опубликован В. В. Кондрашковым* в 1977 г. Суть метода заключается в предположении отражения от любой точки пространства, с соблюдением условия равенства времени пробега от пункта взрыва до пункта приёма величине, наблюдаемой на трассе. Предположим, что время прихода сейсмической волны в точку приёма (ПП) известно. В эту точку отражение могло прийти или из точки 1 (см. рисунок 1), или из точки 2, или из множества других точек. Местоположение таких равноудалённых от ПВ и ПП точек описывается уравнением эллипса, в котором точки ПВ и ПП являются фокусами. Может быть получено изображение этих точек в области (x, z) – области пространства геологической среды. Путём преобразований на основе учета кинематики волн построенные изображения трансформируются в область центровых лучей и в область сейсмограмм. Важным свойством этих преобразований является цикличность и замкнутость преобразований.



* Кондрашков В. В. Получение временного разреза способом эллиптической развёртки отражений (ЭРО) // Региональная разведочная и промысловая геофизика. 1977. № 29. 1-9 с.

Те же трансформации происходят в методе ОГТ при решении обратной задачи – восстановлении геологических границ по полевым сейсмограммам: пространство сейсмограмм (x, t) , область сейсмического (временного) разреза (x_0, t_0) , глубинный разрез (x, z) .

В настоящее время в ЗАО «Пангея» разработано программное обеспечение PROspect, основанное на принципах эллиптической развёртки, с успехом применяемое как в России, так и за рубежом.

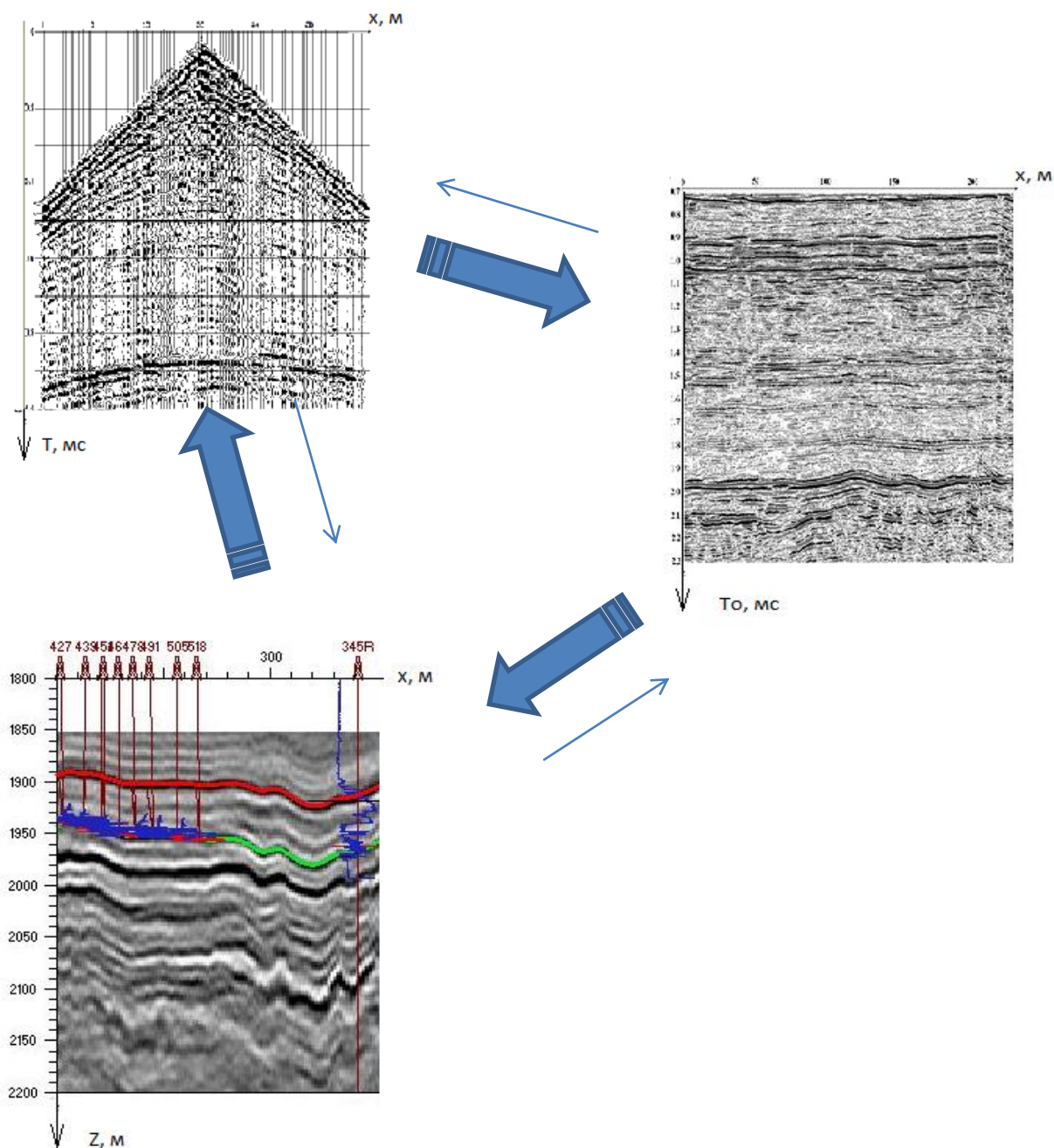


Рисунок 2 – Переход от сейсмограммы к временному разрезу и интерпретационной глубинной модели среды, реализуемый в системе PROspect

На рисунке 2 показаны основные этапы получения сейсмических изображений в программе PROspect.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АДсорбЦИИ, ДИФфуЗИИ И ТЕЧЕНИЯ В НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ

Исламгалиев Д. В.

Научный руководитель Ратушняк А. Н., канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Конечной целью интерпретации данных, получаемых при каротаже методом ПС, кроме литологического расчленения разреза пород по скважине, выполняемого в составе комплекса различных методов каротажа, является определение коэффициента пористости пород-коллекторов углеводородов. Эта задача решается на основе использования статистической связи между коэффициентом пористости и величиной адсорбционного потенциала спонтанной поляризации ПС, устанавливаемой путем их сопоставления по лабораторным исследованиям зерна пород. Переход от потенциала ПС, измеренного на оси скважины напротив пластов-коллекторов, к собственному адсорбционному потенциалу выполняется путем введения поправки за физико-геометрические факторы с помощью палеток Шлюмберже [4, 5].

Наиболее существенный вклад в измеряемое электрическое поле создает адсорбционный потенциал двойного электрического слоя зарядов, образующихся на границах твердой и жидкой фаз среды. Изучению именно этой части электрического поля посвящены основные научные публикации многих авторов, освещающие экспериментальные, опытные и производственные вопросы метода. В то же время определения вклада в измеряемый электрический потенциал величин электрического поля диффузии и течения до настоящего времени не сделано. Возникновение одного физического поля под действием другого поля (электрическое поле диффузии и электрическое поле течения) относится к перекрестным эффектам взаимодействия полей. Под смешанными эффектами понимается такое наложение полей, когда одно поле дает дополнительный вклад в распределение источников другого [1-3].

Для расчета потенциала на оси скважины компоненты векторной функции Грина и компоненты тензорной функции Грина примут вид:

$$G_{\rho_0} = 2\pi(z - z_0) \ln(\rho_0 + R) \Big|_{\rho_{01}}^{\rho_{02}} \Big|_{z_{01}}^{z_{02}}, \quad G_{z_0} = 2\pi R \Big|_{z_{01}}^{z_{02}} \Big|_{\rho_{01}}^{\rho_{02}},$$

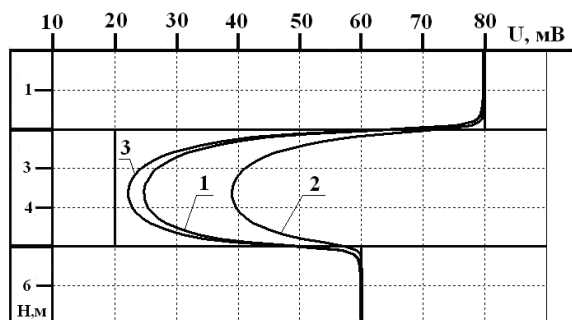
$$G_{z_0} = \frac{2\pi(z - z_0)}{R} \Big|_{z_{01}}^{z_{02}}, \quad G_{\rho\rho_0} \approx 2\pi,$$

$$G_{z\rho_0} = 2\pi \left[\frac{\ln \left| \frac{\rho_0 + \sqrt{\rho_0^2 + (z - z_0)^2}}{\sqrt{\rho_0^2 + (z - z_0)^2}} \cdot \frac{\sqrt{\rho_0^2 + (z - z_0)^2} - \rho_0}{\sqrt{\rho_0^2 + (z - z_0)^2}} \right|}{\sqrt{\rho_0^2 + (z - z_0)^2}} \right] \Big|_{\rho_{01}}^{\rho_{02}} \Big|_{z_{01}}^{z_{02}}, \quad G_{\rho z_0} = 2\pi \int_{\rho_{01}}^{\rho_{02}} \frac{\rho_0^2 d\rho_0}{[\rho_0^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} \Big|_{z_{01}}^{z_{02}},$$

где $R^2 = (\rho + \rho_0)^2 + (z - z_0)^2$, $r_i(\rho, \varphi, z)$ и $r_j(\rho_0, \varphi_0, z_0)$ – точки наблюдений и объема с координатами в цилиндрической системе координат.

На рисунке 1 приведены кривые потенциалов ПС, рассчитанные с помощью программных комплексов «PS-C» [5], «PS-F» и «PS-DK», при следующих физико-геометрических параметрах: диаметры скважины $d_c = 0,2$ м и зоны проникновения $d_{зп} = 1$ м; мощность пласта $h = 3$ м; величины адсорбционных потенциалов пласта, покрывающих и подстилающих сред соответственно равны 20 мВ, 80 мВ и 60 мВ. Кривая 1 показывает величину и характер адсорбционного потенциала при удельных электропроводностях вмещающей среды $\sigma_0 = 1$ См/м; промывочной жидкости $\sigma_{пж} = 1$ См/м; пласта $\sigma_{пл} = 0,02$ См/м; зоны проникновения $\sigma_{зп} = 0,1$ См/м. Кривая 2 – потенциал адсорбции с теми же параметрами с учетом электрического поля диффузии при концентрации солей C : во вмещающих породах 30 кг-экв/м³; в промывочной жидкости 8 кг-экв/м³; в пласте 40 кг-экв/м³; коэффициенты пористости вмещающих пород 0,1 и пласта 0,2. Кривая 3 – потенциал адсорбции и диффузии с теми же параметрами с учетом электрического поля фильтрации при отношении

проницаемостей $c/c_0 = 10^3$, если $c_0 = 10^{-13}$ м²; коэффициенты потенциала течения пласта $L=8 \cdot 10^{-6}$ В/Па, вмещающей среды $L_0=0,4 \cdot 10^{-8}$ В/Па; радиус контура питания 30 м для дебита жидкости из скважины $Q=6$ м³/сутки.



1 – потенциал адсорбции; 2 – потенциал адсорбции с диффузией; 3 – потенциал адсорбции с диффузией и фильтрацией

Рисунок 1 – Кривые потенциала ПС на оси скважины

Величины поправочных коэффициентов $v_{изм}$ и собственных адсорбционных потенциалов $U_{АДС}$, определяемые по значениям потенциалов напротив середины пласта, составляют: 1). По потенциалу адсорбции (кривая 1) $v_{изм} = 0,79$, собственный адсорбционный потенциал $U_{АДС}=20$ мВ; 2). По потенциалу адсорбции с диффузией (кривая 2) $v_{изм} = 0,91$, собственный адсорбционный потенциал $U_{АДС}=36$ мВ; 3). По потенциалу адсорбции с диффузией и фильтрацией (кривая 3) $v_{изм}=0,76$, собственный адсорбционный потенциал $U_{АДС}=17$ мВ. Относительные погрешности определения собственного потенциала пласта $U_{АДС}$ составляют величины 80 и 15 % соответственно для случаев 2 и 3.

Из приведенного примера следует, что при интерпретации материалов каротажа методом ПС без учета эффектов электрического поля, создаваемого диффузией вещества и течения флюидов из вмещающей среды в пространство скважины, определяемая величина собственного потенциала $U_{АДС}$ продуктивного пласта может вдвое и более отличаться от истинной. В дальнейшем, используя экспериментально устанавливаемые корреляционные связи между $U_{АДС}$ и коэффициентом пористости.

В результате проведенных исследований определены перспективы для более успешного использования метода ПС. Они связаны, во-первых, с применением электронной палетки вычисления поправочного коэффициента для перехода от значений измеренного электрического потенциала спонтанной поляризации ПС на оси скважины напротив пласта-коллектора к истинной величине адсорбционного потенциала пород. Во-вторых, с привлечением дополнительных данных для учета всех компонентов, составляющих измеряемое электрическое поле, а именно: электрического поля течения и диффузии вещества с целью выделения потенциала, связанного с адсорбцией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исламгалиев Д. В., Кузьмичев О. Б., Ратушняк А. Н. Вклад электрического фильтрационного потенциала в самопроизвольный при интерпретации каротажа спонтанной поляризации // НТВ Каротажник. 2012. № 2 (212). С. 49-56.
2. Исламгалиев Д. В., Кузьмичев О. Б., Ратушняк А. Н. Диффузионный потенциал и его вклад в потенциал спонтанной поляризации при интерпретации каротажа скважин методом ПС // Известия вузов. Горный журнал. 2012. № 2. С. 162-167.
3. Исламгалиев Д. В., Кузьмичев О. Б., Ратушняк А. Н. Электрическое поле диффузии с конвективным переносом вещества в неоднородной среде // Известия вузов. Горный журнал. 2012. № 3. С. 160-164.
4. Исламгалиев Д. В. Электронные палетки Шлюмберже для интерпретации каротажа скважин методом спонтанной поляризации (ПС) // Международный научно-промышленный симпозиум «Уральская горная школа – регионам». – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. С. 66-68.
5. Ратушняк А. Н., Исламгалиев Д. В. Программный комплекс PS_C. Рег. № 2012660335. 14.11.2012 г.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГИС ПРИ ПОИСКЕ И РАЗВЕДКЕ ЗАЛЕЖЕЙ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

Гатиятов Р. Л.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

В последнее время среди ученых всего мира и крупных энергетических компаний значительно возрос интерес к возможности разведки и эксплуатации газогидратных залежей. По некоторым оценкам мировые запасы газогидратов во много раз превышают запасы обычного газа, приблизительные запасы этого перспективного энергетического ресурса в России составляют около 1400 трлн куб. м. Газовый гидрат объемом 1 куб. м может содержать до 180 куб. м чистого газа.

Газ в газогидратных залежах находится в твердом гидратном состоянии. Для формирования газогидратов необходимо наличие газа и воды, низкой температуры и определенного давления. По условиям скопления газогидраты делятся на два основных вида: связанные с зоной вечной мерзлоты и относящиеся к глубоководным областям, примыкающим к суше.

Считается, что впервые извлечь природный газ из гидратов удалось на расположенном в Сибири Мессояхском месторождении в 1967 г. Ведутся успешные эксперименты на месторождении Малик (северо-запад Канады) и Нанкайском прогибе (Япония). Перспективные газогидратные залежи обнаружены на полярных акваториях на глубинах до 200 м и в районах Атлантического, Тихого и Индийского океанов на глубинах от 500 м.

В последние 5-7 лет объединенные усилия компаний США, Канады, Японии, Индии, Германии, а также некоторых других стран направлены на разработку способов промышленной добычи газа из скоплений газогидратов различного типа. Исследования, проведенные в конце прошлого и начале нынешнего столетия, показали, что скопления газогидратов наблюдаются не только в районах вечной мерзлоты, но и на шельфе.

Доказано, что ГИС играют большую роль при идентификации газогидратных залежей. Основные соображения о выделении и оценке газогидратов в разрезе скважин по данным ГИС были сформулированы еще в 2000-2001 гг. и с тех пор мало изменились. В последние годы ведутся изучения петрофизических свойств коллекторов, содержащих газогидраты. Особое внимание при этом уделяется характеристикам, контролирующим процесс отбора метана, – проницаемости, теплопроводности и механической прочности.

Выявление газогидратов основано на использовании следующих их свойств: высокое удельное электрическое сопротивление, низкие плотность и теплопроводность. Наиболее распространенным же методом является сейсморазведка. При поиске и разведке залежей на море, надежным признаком наличия газогидратов является присутствие сильного отражающего горизонта BSR (Bottom Simulating Reflector).

Детальная разведка газогидратных залежей осуществляется посредством геофизических исследований в пробуренных скважинах, а также путем отбора кернов с последующим их комплексным анализом.

Подсчет запасов газа в газогидратной залежи не может быть проведен методами, используемыми при подсчете запасов газа обычных месторождений природного газа [1].

В случае отсутствия в разрезе уплотненных пород, газогидраты можно выделять по величине удельного сопротивления. При отсутствии проникновения фильтрата промывочной жидкости, газогидраты можно выделять по повышенному удельному сопротивлению, но только в том случае если разрез не содержит уплотненных пород. Рекомендуется проводить измерение сопротивления зондами малой и большой радиальной глубинности, так как есть возможность диссоциации газогидратов при бурении, что может привести к снижению значений измеренных сопротивлений. Признаком отсутствия диссоциации являются близкие значения сопротивлений, измеренных зондами. В противном случае измерения сопротивления следует проводить только зондами большой радиальной глубинности.

Выделение газогидратов возможно путем комплексования ЯМК и ГГК или ЯМК и НК. Газогидраты в этом случае выделяются резким расхождением плотности. По данным ЯМК плотность оказывается резко заниженной, а по данным ГГК отвечает истинной [2].

Совместное рассмотрение данных ЯМК и ГГК дает возможность выделять скопления газогидратов даже при наличии в разрезе плотных пластов. Эти пласты в отличие от коллекторов, содержащих газогидраты, будут отмечаться на обеих кривых, ЯМК и ГГК низкими значениями пористости.

Для исключения влияния минерализации пластовой воды и минерального состава скелета пород рекомендуется при определении пористости нейтронными методами применять нейтронный каротаж.

Для выявления трещин и оценки возможных путей миграции выделенного из газогидратов метана предложено использовать панорамные изображения стенки скважины, полученные электрическими и акустическими приборами

По проведенным исследованиям выявлена возможность выявления газогидратов по акустическому каротажу, интервальное время пробега газогидратов примерно 270 м/с.

Коэффициент газонасыщенности обычно оценивается по формулам Арчи и Дахнова, основанные на взаимосвязи коэффициента увеличения удельного электрического сопротивления при частичном насыщении газом относительно сопротивления того же пласта при 100% насыщении его пор водой. Недостатком формул Арчи и Дахнова является использование при расчете коэффициентов, полученных эмпирических путем. При отсутствии поглотителей нейтронов определение газонасыщения возможно стационарными нейтронными методами.

Исследования, проведенные в Нанкайском прогибе показали, что коллекторы, насыщенные недиссоциированными газогидратом, более стабильны, чем такие же коллекторы, содержащие воду.

Механическая прочность, стабильность гидратонасыщенных пород и связь их удельного сопротивления и скорости распространения упругих колебаний с содержанием газогидратов зависят от того, как распределен газогидрат внутри горной породы и в какой мере он цементирует неуплотненные отложения.

За последние годы повышена эффективность сейсмических и электромагнитных методов разведки скоплений газогидратов на суше и под дном океанов и внутренних водоемов. Разработаны и опробованы некоторые элементы контроля эксплуатации газогидратов на основе методов ГИС

В ближайшее время наиболее перспективными для промышленной добычи являются скопления газогидратов на северном склоне Аляски, северо-западе Канады, в полярных областях России, а также на акваториях Мексиканского залива, Нанкайского прогиба (Япония), на оторочках Индийского полуострова, на склонах Южно-Китайского моря и у берегов Южной Кореи. Несмотря на то, что месторождения газогидратов, расположенные в зоне вечной мерзлоты, занимают меньшую часть общей доли запасов газогидратов в мире, они считаются наиболее перспективными для промышленной эксплуатации в ближайшем будущем.

Начало промышленной разработки газогидратных месторождений приведет к коренным изменениям на рынке природного газа и рынке углеводородов в целом. Страны, которые сейчас рассматриваются как перспективные крупные покупатели для традиционных поставщиков газа и на которые нацелены долгосрочные контракты, могут быстро превратиться в энергетически независимые государства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макогон Ю. Ф. Гидраты природных газов. – М.: Недра, 1974. 208 с.
2. Разведка и опытная эксплуатация месторождений газогидратов (по материалам зарубежной литературы) // НТВ «Каротажник». 2009. Вып. 8. Тверь: Изд-во «АИС», 2009. С. 92-123.

СРАВНЕНИЕ МАГНИТНОЙ ТЕКСТУРЫ МЕТЕОРИТОВ, МАГНЕТИТОВ И ПИРРОТИНОВ ПУТЁМ ИЗУЧЕНИЯ ИХ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ

Иванченко С. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Метеориты несут в себе информацию об условиях их образования. Метеориты состоят из железо-никелевого сплава (среднее содержание Fe – 90, Ni – 10 %) и силикатных минералов, главным образом – оливина и пироксена. Железистые метеориты обладают ярко выраженными магнитными свойствами [6].

Природные ферромагнетики, кристаллизуясь в различных термодинамических и физико-химических условиях, в своём химическом составе и магнитной структуре несут генетическую информацию об этих условиях. Типоморфные особенности магнетита широко используются при решении задач рудно-формационного анализа.

Способом изучения магнитных свойств образцов было выбрано изучение магнитоакустической эмиссии образца. Сравнение различных образцов метеоритов с образцами природных ферромагнетиков поможет лучше понять магнитные процессы оных.

На основе многочисленных экспериментов выяснилось, что явление магнитоакустической эмиссии связано с процессами изменения доменной текстуры материалов [3, 4, 5], в результате чего каждый скачок является источником механических колебаний всего образца.

По современным представлениям источником магнитоакустической эмиссии при перемагничивании ферромагнетиков, являются локальные участки магнитоакустических деформаций, происходящих при перестройке доменных границ. В отличие от эффекта Баркгаузена, при изучении магнитоакустической эмиссии информация поступает со всего перемагничиваемого объёма исследуемого образца. Наибольшее применение метод магнитоакустической эмиссии нашёл в дефектоскопии [7].

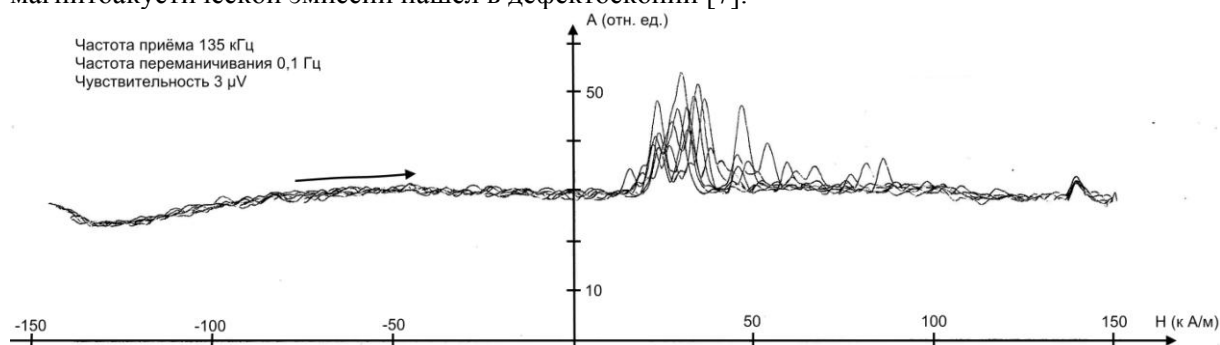


Рисунок 1 – Пример магнитоакустической эмиссии метеорита Campo del Cielo

При измерении магнитоакустической эмиссии амплитудное значение силы тока, подаваемого на катушки электромагнита, была равна ± 5 А, частота перемагничивания – 0,1 Гц [1, 2], а частота принимающего сигнала на различных частотах составляла от 120 до 140 кГц.

Метеориты были предоставлены научным центром по изучению метеоритов под руководством Гроховского Виктора Иосифовича.

При сравнении магнитной текстуры метеоритов, магнетитов и пирротинов автором статьи были поставлены следующие задачи:

1. Изучить проявление магнитоакустической эмиссии метеоритов;
2. Сравнить кривые магнитоакустической эмиссии различных образцов метеоритов, магнетитов и пирротинов;

3. Сделать выводы о поведении магнитной текстуры образцов метеоритов и об условиях её образования.

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

Кривые магнитоакустической эмиссии метеоритов сильно отличаются от кривых природных и искусственных ферромагнетиков. Амплитуда сигнала у метеоритов более слабая, акустическая эмиссия имеет более узкий диапазон сигнала. Градиент возникновения акустических шумов у образцов метеорита гораздо выше.

Изучив проявление эффекта магнитоакустической эмиссии на метеоритах можно судить о сложном доменном строении образцов.

Проявление магнитоакустической эмиссии метеоритов не характерно для других, ранее исследуемых образцов (рисунок 1). У большинства образцов метеоритов сигнал имеет один чётко выраженный максимум, отличающийся большим значением амплитуды, а так же резким подъемом и спадом. Максимум сигнала магнитоакустической эмиссии приходится на 25 кА/м. Так же присутствуют хаотично распределённые скачки, которые при последующих циклах перемагничивания не совпадают друг с другом. Этот эффект не наблюдался на ранее изученных образцах природных и искусственных ферромагнетиков.

Такой сложный характер кривой можно объяснить аддитивностью сложения эффектов магнитоакустической эмиссии, относящихся к разным источникам. Наличие дополнительных случайных пиков на кривой магнитоакустической эмиссии, возможно, объясняется сложным фазовым составом образца.

Интерес данных измерений в том, что при каждом одинаковом перемагничивании образца происходит различное изменение доменной структуры. То есть, проводя одно и то же действие над образцами мы получаем различные результаты.

Резкий скачок сигнала при низком значении поля может быть обусловлен содержанием в образце доменной структуры одного порядка (71° или 109° доменных границ), вследствие чего происходит резкое перемагничивание практически всего образца.

Дальнейшие же хаотичные скачки могут быть вызваны различными включениями прочих компонентов в состав образца, имеющих более низкую магнитную восприимчивость или более сложную, скорее всего, наведённую магнитную текстуру.

Неоднозначным характером кривой магнитоакустической эмиссии обладает образец Сихотэ-Алинского метеорита. У него не наблюдается чётко выраженного максимума. Кривая имеет несколько максимумов, распределённых по всей оси изменения магнитного поля. Сигнал имеет высокую амплитуду. Хаотично распределённые скачки отсутствуют. Похожий характер кривой присутствует у образцов пирротитов.

Образцы пирротина проявляют ярко выраженную анизотропию. К сожалению, анизотропные свойства метеоритов изучены пока ещё не были.

Несомненно, данная тема очень интересна и требует дальнейшего, более глубокого изучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

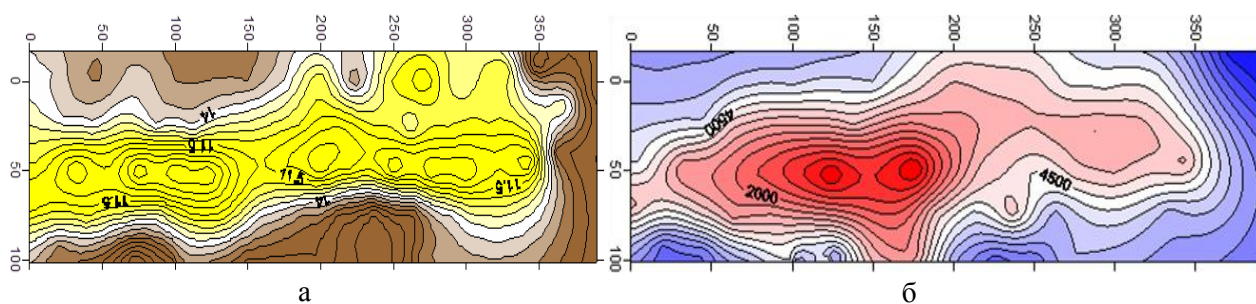
1. Buttle D. J., Sakubories J. P., Briggs G. A. Magnetoacoustic and Barkhausen emission from domain wall interaction with precipitates in Jucoloy 904 [Text] // Philosophical Magazine, A, 1987, 55, 6; 735-756.
2. Hill R., Geng R. S., Cowking A. and Mackersey Y. W. The effect of nickel hardness and grain size on acoustic and electromagnetic Barkhausen emission [Text] // NDT & E International, v.24, N 4, August, 1991, P. 179-186.
3. Lord A. E., Vatchev R., Robinson M. Acoustic emission associated with changes of magnetization in thin nickel rods. [Text] // Letter Apply Eng. Sci., 1974, v. 2., N 9, p. 1-9.
4. Lo C. C. H., Scruby C. B. Study of magnetization processes and the generation of magnetoacoustic and Barkhausen emissions in ferritic/pearlitic steel [Text] // J. Appl.Phys., 1999, v. 85, № 8, P. 5193-5195.
5. Вонсовский С. В. Магнетизм [Text] – М.: Наука, 1971. С. 1032.
6. Гуськова Е. Г. Магнитные свойства метеоритов. Метеориты в лаборатории [Text] – Л.: Наука, Ленингр. отд. С. 5-9, 39-54.
7. Горкунов Э. С., Хамитов В. А., Бартенев О. А. Магнитоупругая акустическая эмиссия в пластически деформированных ферромагнетиках [Text] //Дефектоскопия. 1988. № 9. С. 10-16.

МАГНИТОРАЗВЕДКА НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЧКАНАРСКОЙ ГРУППЫ

Пошиваник Р. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Цель данной работы: оценка возможностей магниторазведки на этапе разработки железорудного месторождения с высоким содержанием ванадия и титана. Для этого необходимо провести сравнение результатов предыдущих работ, на уже отработанных и разрабатываемых месторождениях железа аналогичного типа с данными детальной магнитной съемки того же масштаба 1:500. Для сравнения было выбрано Гусевогорское месторождение, так как на данном месторождении магнитная съемка успешно проводилась более 35 лет для разбраковки эксплуатационных блоков на участки с содержанием железа выше бортового содержания и некондиционные блоки (рисунок 1).



а – Планы изолиний содержания железа в руде (оцифровка в %); б – планы изодинам (оцифровка в нТл) для одного эксплуатационного блока

Рисунок 1 – Эксплуатационный блок Гусевогорского месторождения

Для проведения оценки необходимо выделить из измеренного магнитного поля локальные аномалии, обусловленные железорудными телами. Разделение аномалий от массива ультраосновных пород и железорудных пластов проводилось несколькими способами. При попытке воспользоваться усреднением по нескольким профилям или точкам, аномалии от железорудных объектов сглаживались, поэтому полученные результаты можно было использовать только для качественной интерпретации данных. Следовательно, данный способ не пригоден для количественной интерпретации. Линейная модель регионального фона ввиду сложной формы регионального фона не рассматривалась. Попытки аппроксимировать региональный фон полиномами невысоких степеней также не увенчались успехом.

На первой стадии обработки было установлено, что массив имеет восточное падение и определены с помощью метода подбора приблизительные глубины для верхней кромки массива. Западная часть массива погружена на большую глубину, чем восточная. С севера на юг глубина залегания верхней и нижней кромки уменьшается при сохранении мощности. Вдоль западного края пласта проходит интенсивная аномалия пласта, которую нельзя аппроксимировать пластом ультраосновных пород. Из чего был сделан вывод о том, что аномалия в этой части обусловлена массивным железорудным телом.

Аномалеобразующий объект был аппроксимирован наклонным пластом с намагниченностью 10 А/м, мощностью 300 м, шириной 1300 м и протяженностью 700 м (рисунок 2). Для получения локальных аномалий обусловленных рудными телами, из измеренных значений были вычтены значения аномалии пласта. По полученным результатам был построен план изодинам магнитного поля.

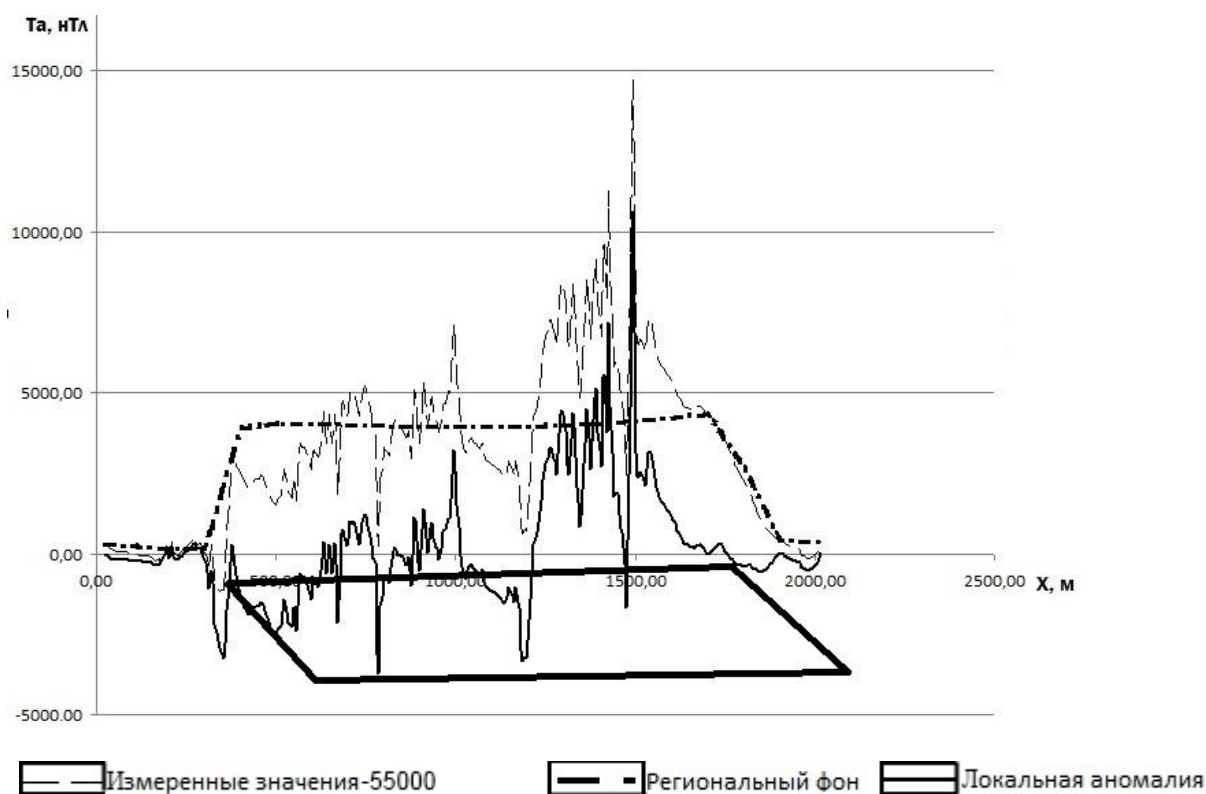


Рисунок 2 – Графики составляющих магнитного поля по 17 профилю

После выделения локальных составляющих магнитного поля (рисунок 3) проводилось сравнение характера и интенсивности аномалий на исследуемом месторождении с Гусевогорским месторождением (рисунок 1, б). Аномалии на обоих месторождениях резко градиентные достигают амплитуд 8000 нТл, преимущественно простираются с севера на юг.

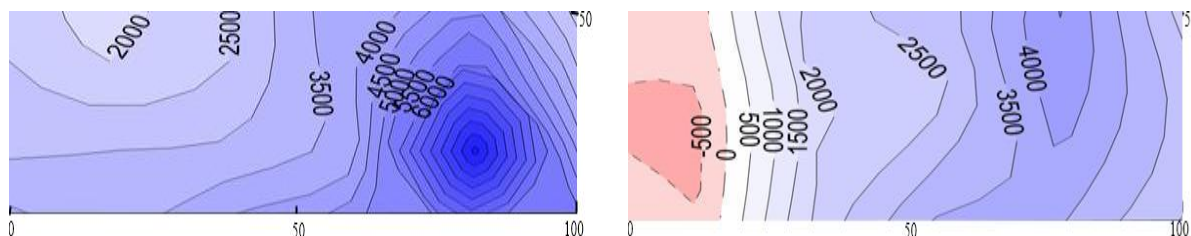


Рисунок 3 – Планы изодинам (оцифровка в нТл) для двух эксплуатационных блоков железорудного месторождения

Локальные аномалии, обусловленные скоплением титаномагнетита, на обоих месторождениях сходны по морфологии и обладают близкой интенсивностью. Поскольку характер аномалий на обоих месторождениях аналогичен, применение магниторазведки на эксплуатационной стадии на апатит титаномагнетитовом месторождении возможно для разбраковки эксплуатационных блоков и определения содержания железа.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ В БИПОЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИИ МЕТОДА ЗАРЯДА

Романов Р. С.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

В предыдущей работе [1] была аналитически подтверждена возможность оконтуривания рудных залежей с применением бипольной установки. В настоящей работе рассматриваются варианты взаимоположения заряженной пластины и отрицательных точечных источников.

Расчеты проводились с применением решения, известного из работы [2], при допущении, что заряженное тело – это идеально проводящий плоский диск, расположенный в изотропном проводящем полупространстве. Были учтены эффекты влияния границы раздела «земля – воздух», также учтены эффекты взаимовлияния заряженной пластины и точечного источника. А поле изучается на поверхности полупространства. По результатам этих расчетов построены картины изолиний потенциала в нижнем полупространстве, графики градиент-потенциала поля положительно заряженного тела и суммы полей положительно заряженного тела и точечного отрицательного источника на разных глубинах, суммы полей положительно заряженного тела и отрицательного точечного источника при разных положения точечного источника. Картины поля дают представление о его структуре и условиях растекания тока при двух вариантах токовой установки.

На плане изолиний потенциала (рисунок 1) видно распространение тока в нижнем полупространстве. В случае нахождения отрицательного источника тока под центром пластины распространение тока в пространстве симметрично относительно центра пластины.

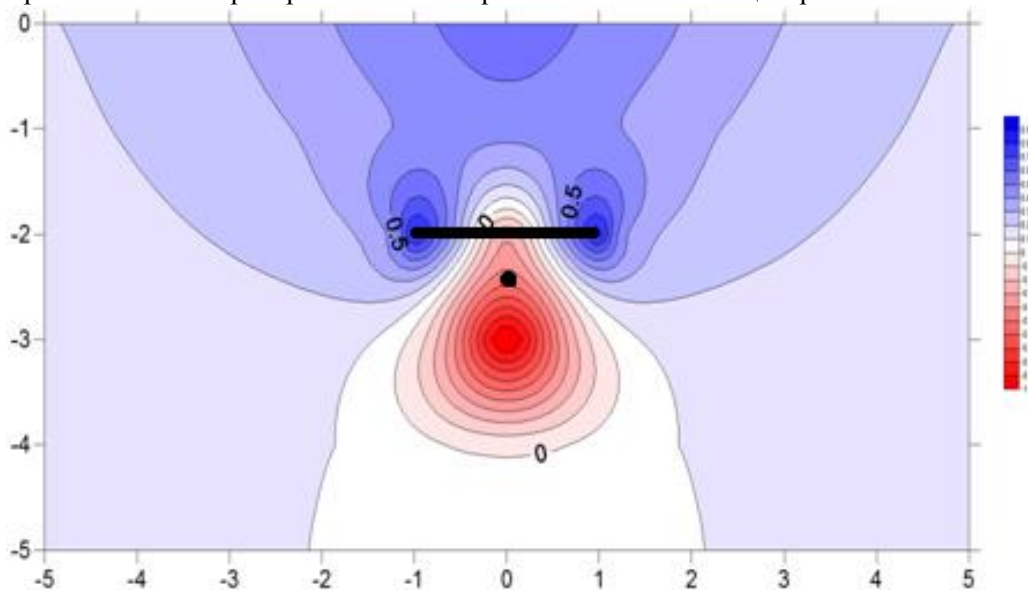


Рисунок 1 – План изолиний потенциала

На плане изолиний потенциала наблюдаются положительные максимумы в районе краев пластины, отрицательный максимум смещен относительно положения точечного источника, также наблюдается вытягивание изолиний в центре пластины. Это связано с эффектами взаимовлияний точечного источника и пластины. Понятно, что при смещении отрицательного источника относительно центра пластины симметрия токовой картины кардинально изменится.

На рисунке 2 приведены варианты расположения точечного источника относительно центра пластины, также приведены графики градиента потенциала при разных положениях точечного источника и график градиента потенциала от заряженной пластины без отрицательного точечного источника.

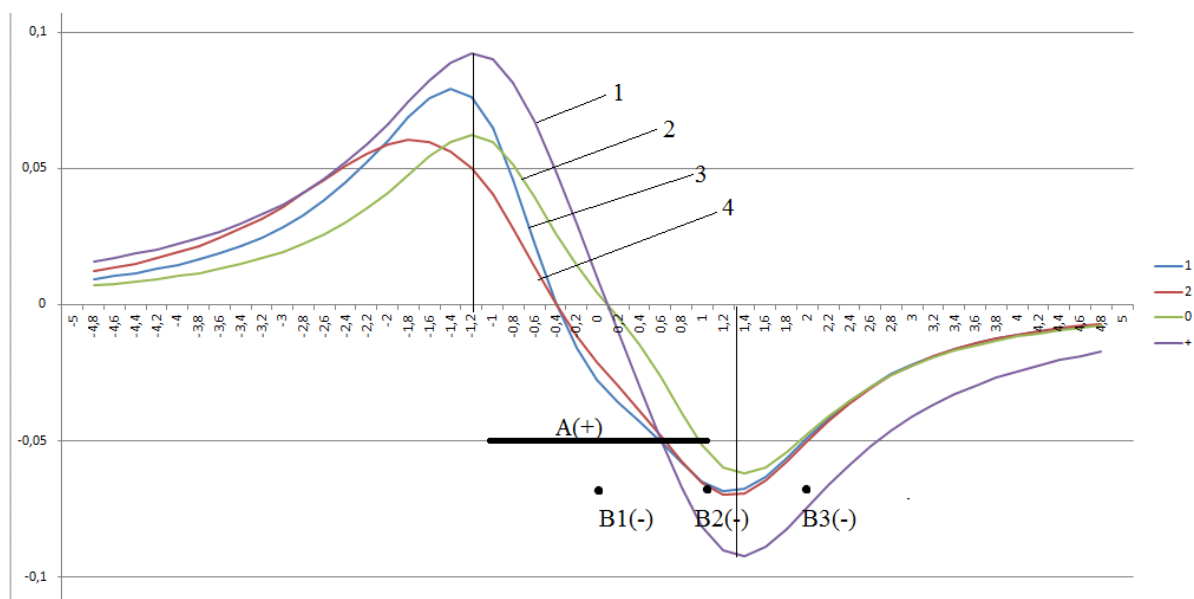


Рисунок 2 – Графики градиента потенциала заряженной пластины (1), заряженной пластины и точечного источника В1 (2), заряженной пластины и точечного источника В2(3), заряженной пластины и точечного источника В3(4)

На рисунке 2 наблюдаются смещения экстремумов графиков градиента потенциала при смещении отрицательного точечного источника. При положении отрицательного точечного источника В2(-) и В3(-) отрицательные экстремумы графиков градиента потенциала совпадают, а положительные значительно различаются. В случае с источником В2(-) положительный экстремум графика градиента потенциала смещается не сильно, в случае В3(-) смещение значительно относительно истинного нахождения границы тела.

Из этого можно сделать вывод, что в случае заземления отрицательного точечного источника не под центр положительно заряженного рудного тела оконтуривание возможно только границы, в сторону которой идет смещение отрицательного заряда. Также, с небольшими погрешностями, есть возможность оконтуривания и другой границы заряженного тела, в случае небольшого смещения отрицательного заряда относительно центра положительно заряженного тела.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романов Р. С. Теоретические предпосылки оконтуривания рудных залежей с применением погруженной двухполюсной установки // Сборник научных материалов «XIV Уральская молодежная научная школа по геофизике», г. Пермь, 2013. С. 216-218.
2. Семенов М. В., Сапожников В. М., Авдевич М. М., Голиков Ю. В. Электроразведка рудных полей методом заряда. – Л.: Недра, 1984. 216 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ВСП В НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННЫХ СКВАЖИНАХ

Горелик Г. Д.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

В настоящее время наклонно-направленные скважины бурятся при разведке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, а также в инженерной сейсморазведке для оценок риска, связанного с постройкой новых объектов.

ВСП – метод скважинных, околоскважинных и межскважинных сейсмических исследований, предназначенный для решения геологических, методических и технологических задач с целью повышения геолого-экономической эффективности разведки и эксплуатации месторождений [1].

Конечной и наиболее важной задачей всей обработки материалов ВСП и НВСП, в частности, является построение временных и глубинных разрезов – основного источника информации о геологическом строении околоскважинного пространства. Классическая обработка данных ВСП для получения таких разрезов предполагает рассмотрение лишь отраженных волн [2].

В данной работе описывается способ обработки данных ВСП, предполагающий что каждая точка пространства является вторичным источником волн – дифрактором.

Для проверки новых способов в сейсморазведке используют математическое моделирование – процедуру построения сейсмогеологической модели среды и математического описания ее параметров. Для проверки алгоритма обработки были созданы модели двухслойной изотропной среды с горизонтальной отражающей границей. Параметры этих моделей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры модели двухслойной изотропной среды

Глубина отражающей границы (ОГ), м	Скорость волн выше ОГ, м/с	Удаление источник – устье скважины, м	Угол наклона скважины от вертикали, град	Шаг между приемниками в скважине, м
2000	1000	1000	-80 ÷ +80	40

Если пункт взрыва для возбуждения колебаний выносить в сторону, диаметрально противоположную наклону скважины, то в известной степени увеличивается область исследования околоскважинного пространства [3]. Эта рекомендация была использована для моделирования (рисунок 1). Положительными углами характеризовался наклон скважины в сторону, противоположную источнику, отрицательными – к источнику.

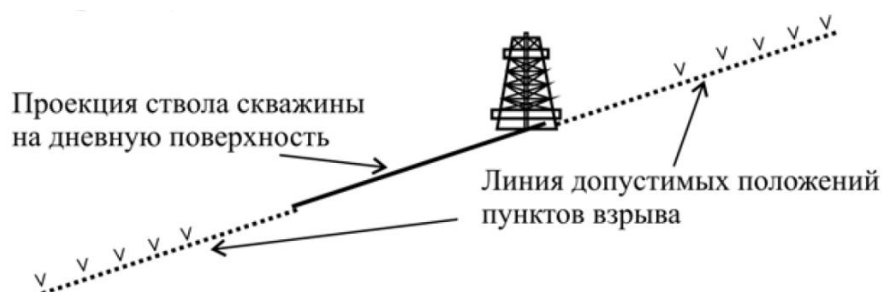


Рисунок 1 – Схема допустимых положений ПВ при проведении ВСП в наклонных скважинах, используемая при моделировании

В процессе моделирования вначале по известным формулам были рассчитаны годографы НВСП, а затем для получения синтетических сейсмограмм они были «свернуты» с импульсом Риккера [4].

После создания необходимых сейсмограмм решалась обратная задача – получение изображения геологической среды по данным ВСП.

При этом для любой точки пространства – дифрактора – с каждой сейсмической трассы, записанной сейсмоприемниками, была взята амплитуда, зафиксированная на времени, которое требуется волне для прохождения расстояния источник-дифрактор-приемник.

Полученные массивы амплитуд изображались в виде глубинных разрезов (рисунок 2). При этом хорошо прослеживается граница, расположенная на глубине 2000 м, что соответствует модели. Для уменьшения помех при обработке была применена операция мьютинга, исключаяющая прямую волну из обработки.

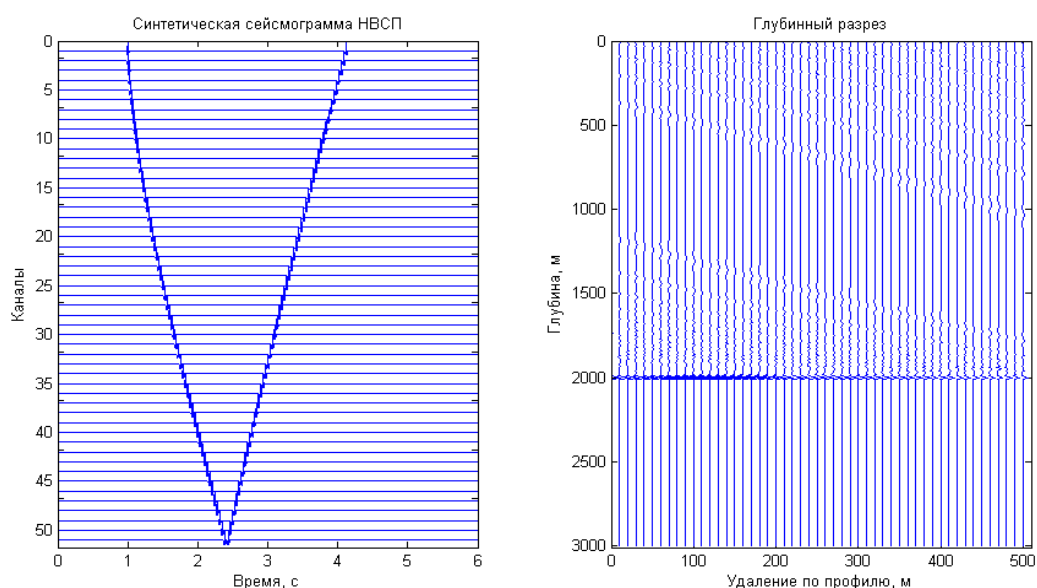


Рисунок 2 – Синтетическая сейсмограмма НВСП и полученный по ней глубинный разрез.
Угол наклона скважины 10 градусов

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что данный метод обработки материалов ВСП достаточно информативен и универсален и может применяться в скважинах любой конфигурации, для чего необходимо лишь точно знать координаты сейсмоприемников и координаты пункта взрыва (для расчета расстояния источник-дифрактор-приемник).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гальперин Е. И. Вертикальное сейсмическое профилирование: опыт и результаты. – М: Наука. 320 с.
2. Бондарев В. И., Крылатков С. М. Способ построения глубинного разреза по данным НВСП // Материалы Гальперинских чтений, 2012.
3. Мартюшев А. А. О целесообразности проведения ВСП в наклонных скважинах // Материалы Гальперинских чтений, 2009.
4. Бондарев В. И., Крылатков С. М. Сейсморазведка: учеб. для вузов в 2-х томах. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ. Том 1. 400 с. Том 2. 400 с.

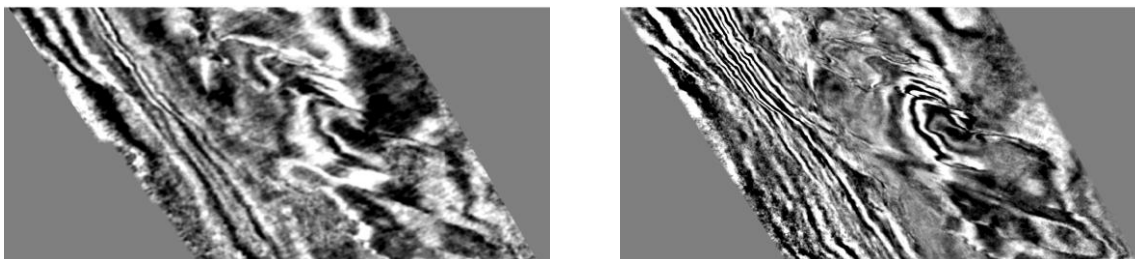
О ПОЛУЧЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОЙ КРАТНОСТИ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ

Курашов И. А.

Научный руководитель Бондарев В. И., д-р геол.-минерал. наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Бурное развитие сейсмических методов исследования геологической среды, особенно при поиске и разведке месторождений нефти и газа, требует постоянного роста значений параметров, прямо влияющих на итоговое сейсмическое изображение среды. Одним из таких параметров становится кратность, причем как кратность перекрытия, связанная с используемой системой наблюдений, так и кратность суммирования, определяемая методами обработки материалов сейсморазведочных работ.

Как уже было отмечено, задача построения изображения с высокой кратностью суммирования сейсмических трасс может быть решена при регистрации данных путем использования съемок с высокой плотностью источников и приемников, пример изображения полученного в ходе одной из таких съемок показан на рисунке 1. Другим направлением становится повышение кратности на этапе обработке данных, для этого могут применяться специальные алгоритмы анализа волнового поля. При этом первый путь при большей эффективности, за счет реально выполненных независимых физических наблюдений, вместе с тем является и значительно более затратным, а также труднореализуемым в регионах, не относящихся к пустынно-степным зонам. Это обуславливает актуальность разработки методов обработки, способных повышать кратность суммирования трасс при построении изображений на основе анализа данных работ, выполненных со стандартными значениями параметров сейсмической съемки.



а – полевые работы выполнены в 1998 году; кратность наблюдений – 250, размер бина 25×25 м; плотность трасс на 1 км² – 400000 шт.; б – полевые работы 2010 года, кратность наблюдений – 504; размер бина 3,75×3,75 м; плотность трасс на 1 км² – 3584000 шт.*

Рисунок 1 – Сравнительный вид погоризонтных сечений одного и того же участка сейсмической съемки в Катаре, полученный по результатам работ разных лет

Одним из возможных решений обозначенной задачи могут служить способы анализа сейсмических записей, основанные на дифракционных преобразованиях. Изучение поля дифрагированных волн делает правомочным пересчет сейсмических трасс с помощью специальных кинематических поправок и их отнесение не только к средней точке, но и к группе других точек на поверхности наблюдений. Такой подход дает возможность получать изображений геологической среды высокой кратности непосредственно при обработке данных полевых наблюдений.

* Череповский А. В. Сейсморазведка с одиночными приемниками и источниками: обзор современных технологий и проектирование съемок. – Тверь: ООО «Изд-во ГЕРС», 2012. 134 с.

ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ГРАНИТОИДОВ РАЙОНА ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА

Кононихина В. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Исследование содержания урана, тория и калия в Шарташском и Верх-Исетском гранитоидных массивах проводится с целью выяснить, имеют ли эти массивы одинаковое происхождение и возраст.

В качестве эталонов были использованы эталоны урана (масса 186,8 г, содержание 0,047 %), тория (масса 156,8 г, содержание 0,05 %) и калия (масса 186,1 г, содержание 24 %). Измерения эталонов урана и тория проводились 20 минут, а образцов и эталона калия – 60 минут, так как интенсивность их гамма-излучения значительно меньше интенсивности излучения эталонов урана и тория. Для учета вариаций гамма-излучения, возникающих вследствие изменения концентраций радиоактивных элементов в воздухе, каждый день измерений в течение часа проводилось наблюдение спектра фона гамма-излучения. Спектрометрические исследования проводились на сцинтилляционном спектрометре Гамма-01С, располагающемся на кафедре геофизики УГГУ. Кристалл йодистого натрия имеет размеры 70×70 мм, энергетическое разрешение спектрометра 8 %.

Полный диапазон возможных энергий улавливаемых гамма-квантов в спектрометре разбивается на n равных участков, регистрирующих сигналы определенной амплитуды. На каждом участке ведется подсчет количества пришедших электрических сигналов заданной амплитуды (интенсивность I , имп./с) за время измерений t . Получаемый аппаратный спектр существенно отличается от первичного спектра гамма-излучения горной породы вследствие сложных процессов взаимодействия гамма квантов с веществом сцинтиллятора, а также из-за статистических процессов, возникающих в фотоумножителе и анализаторе.

Регистрируемая интенсивность гамма-излучения для определенного интервала энергий спектра складывается из интенсивности излучения породы $I_{пj}$ и фона $I_{фj}$

$$I_{обрj} = I_{пj} + I_{фj}, \quad (1)$$

где $I_{обрj}$ – интенсивность гамма-излучения, регистрируемая от данного i -го образца (эталона) в определенном j -м энергетическом интервале.

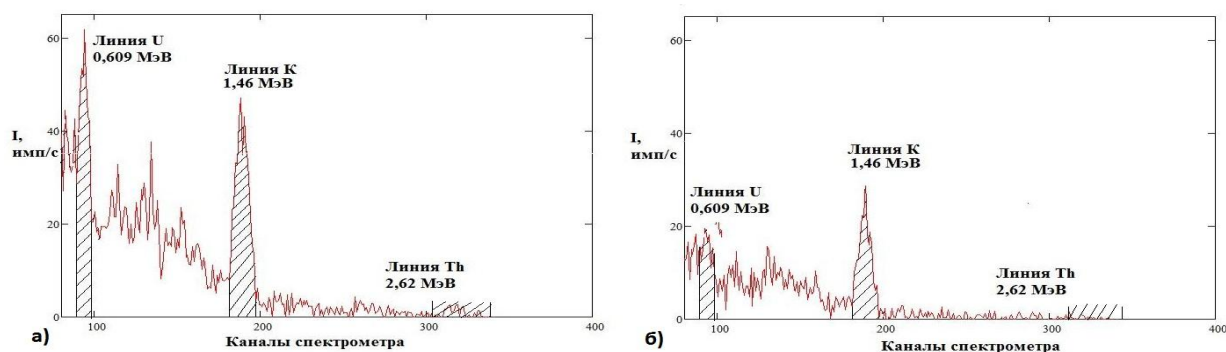
Для того чтобы получить интенсивность гамма-излучения, обусловленную содержанием в породе урана, калия и тория, необходимо из измеренных значений вычесть значения, обусловленные влиянием фона, и привести измерения к единым массе (200 г) и времени (60 минут) по формулам:

$$I_U^* = I_U \cdot 3, \quad I_{Th}^* = I_{Th} \cdot 3,$$

где I_U^* , I_{Th}^* – количество зарегистрированных импульсов с учетом пересчета на время измерений 60 минут, I_U , I_{Th} – количество зарегистрированных импульсов за реальное время измерения.

$$\begin{aligned} I_U^{**} &= (U_i - F_i) \cdot 200 / M_U, \\ I_{Th}^{**} &= (Th_i - F_i) \cdot 200 / M_{Th}, \\ I_K^{**} &= (K_i - F_i) \cdot 200 / M_K, \end{aligned}$$

где I_U^{**} , I_{Th}^{**} , I_K^{**} – количество зарегистрированных импульсов с учетом пересчета на массу образца 200 г; U_i , Th_i , K_i – количество импульсов каждой регистрируемой энергии в спектре образца, F_i – количество импульсов каждой регистрируемой энергии в измерениях фона; M_U , M_{Th} , M_K – массы эталонов урана, тория, калия в граммах.



Условные обозначения: заштрихованные области – энергетические интервалы спектра, каждый из которых захватывает одну из аппаратных линий.

Рисунок 1 – Итоговый спектр излучения Шарташского гранитоидного массива (а) и Верх-Исетского гранитоидного массива (б)

Концентрация радиоактивных элементов определяется путем сравнения интенсивностей гамма-излучения анализируемой породы I и i -х эталонов (Ra, Th, K) в определенных j -х энергетических интервалах.

$$\begin{aligned} I_{Ra} &= a_1 Q_K + a_2 Q_{Ra} + a_3 Q_{Th}, \\ I_{Th} &= b_1 Q_K + b_2 Q_{Ra} + b_3 Q_{Th}, \\ I_K &= c_1 Q_K + c_2 Q_{Ra} + c_3 Q_{Th}, \end{aligned} \quad (2)$$

где a_i, b_i, c_i – спектральные (рабочие или градуировочные) коэффициенты.

Концентрации U, Th, и K определяются обратной матрицей для матрицы к системе уравнений (2), в которой коэффициенты A_i, B_i, C_i называют «рабочими коэффициентами» или «коэффициентами разделения» K, U и Th.

$$\begin{aligned} Q_{Ra} &= A_1 I_K + A_2 I_{Ra} + A_3 I_{Th}, \\ Q_{Th} &= B_1 I_K + B_2 I_{Ra} + B_3 I_{Th}, \\ Q_K &= C_1 I_K + C_2 I_{Ra} + C_3 I_{Th}. \end{aligned} \quad (3)$$

В таблице 1 приводятся концентрации U, Th, и K, полученные в результате спектрометрических измерений.

Таблица 1 – Сравнение результатов измерений со справочными данными

Горные породы	Содержание, г/т		
	U	Th	K
Граниты	3,5 (0,6 – 35)	15,5 (3 – 96)	3,6 (1,6 – 9,0)
Диориты	2,0 (0,3 – 5,6)	8,3 (2 - 34)	2,2 (0,8 - 6,8)
Габбро	0,9 (0,1 – 2,7)	3,5 (0,5-15)	1,0 (0,3 – 1,8)
Шарташский обр. № 1	1,1	1,9	3,0
Шарташский обр. № 2	4,3	4,4	2,1
Верх - Исетский обр. № 1	0,6	0,5	0,9
Верх - Исетский обр. №2	0,6	1,4	1,0

На основании измерений можно сделать вывод, что содержание урана и калия в образцах Шарташских и Верх-Исетских гранитов меньше по сравнению со средними значениями (см. таблицу 1), характерными для гранитов по справочным данным, но не ниже минимально возможных значений, а содержание тория мало и в Шарташских, и в Верх-Исетских образцах. Содержание урана, тория и калия в Шарташских гранитах в 1,5-2 раза выше, чем в Верх-Исетских. Вследствие резко отличающихся содержаний радиоактивных элементов в образцах можно утверждать, что Шарташский и Верх-Исетский гранитоидные массивы не имеют единого происхождения.

СОВМЕСТНОЕ ИСТОЛКОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Караев А. Ю., Богомолов А. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Комплексное истолкование геофизических исследований – всегда актуальная задача, которая в настоящее время не решена. Известны различные подходы к решению этой задачи. При совместном истолковании нескольких потенциальных геофизических полей применяют метод редких сочетаний вычисления комплексного показателя, вычисление коэффициента Пуассона, вычисление псевдомагнитного и псевдогравитационного полей и др. [1, 2]. Нами дополнительно использовались 3 способа обработки.

Важную роль в строении практически всех типов золоторудных месторождений играют тектонические нарушения и приуроченные к ним дайки кислого состава и контакты пород разного состава [1]. Для выделения разломов по данным гравиразведки и магниторазведки по измеренным значениям полей золоторудного месторождения вычисляли усреднённые горизонтальные градиенты Γ_g и Γ_m . Градиенты вычисляли по локальным аномалиям силы тяжести и аномалиям ΔT на основе сплайн аппроксимации в широтном и меридиональном направлениях по 5 точкам. Поскольку разломы в магнитном и гравитационном полях проявляются понижением интенсивности полей, то для приведения их к безразмерному виду была проведена нормировка каждого градиента и вычислена их сумма Γ_{ngm} :

$$\Gamma_g = \frac{\Gamma_{gi} - \bar{\Gamma}_g}{S_g}, \quad \Gamma_m = \frac{\Gamma_{mi} - \bar{\Gamma}_m}{S_m}, \quad \Gamma_{ngm} = \Gamma_g + \Gamma_m,$$

где $\bar{\Gamma}_g$ и $\bar{\Gamma}_m$ – средние значения градиентов гравитационного и магнитного полей; S_g и S_m – среднеквадратические отклонения. Успешность применения этой методики демонстрирует карта изолиний Γ_{ngm} , представленная на рисунке 1, на которой ярко проявлены разломы различной ориентировки.

Нами построены поля корреляции зависимости аномального гравитационного и магнитного полей для месторождения золота куранахского типа (рис. 2) для всей площади и для центральной части аномалии. Наблюдается закономерное поведение $Z(\Delta g)$. Эта зависимость позволяет получить оценки источников поля с учётом обоих полей. Для тел правильной геометрической формы (шар – трёхмерный объект, круговой горизонтальный цилиндр – двухмерный объект) были получены $Z(\Delta g)$:

Для шара:

$$Z = 100M\Delta g \frac{3h^2\Delta g^{2/3} - (kmh)^{2/3}}{(kmh)^{5/3}}. \quad (1)$$

Магнитное поле является функцией $Z = f(M, \Delta g, m, h)$, где M – магнитный момент, m – масса, h – глубина до центра.

Для кругового горизонтального цилиндра получим:

$$Z = 100M\Delta g \frac{\Delta g - k\lambda/h}{k^2\lambda^2}. \quad (2)$$

Магнитное поле зависит: $Z = f(M, \Delta g, \lambda, h)$, где M – магнитный момент единицы длины, λ – линейная плотность, h – глубина до оси цилиндра.

Графики $Z(\Delta g)$ с плотностью и намагниченностью, характерными для месторождений куранахского типа, приведены на рисунке 4. Полученные результаты позволяют (1, 2) для геологических объектов известной формы определять параметры аномалиеобразующих объектов. Предложенные способы вместе с другими известными способами реализованы в программе «Рудня зона».

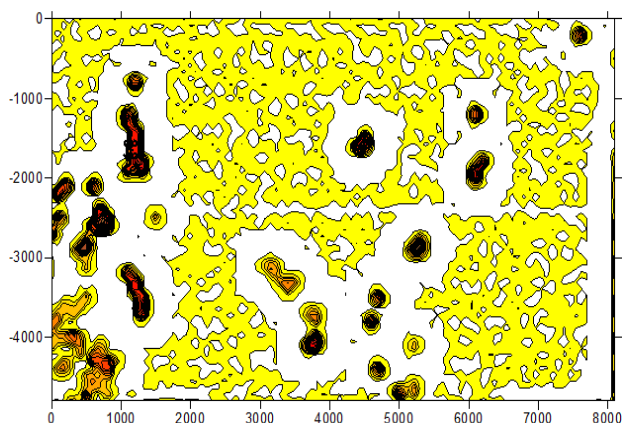


Рисунок 1 – План изолиний суммы градиентов гравитационного и магнитного полей $\Gamma_{лгм}$ золоторудного месторождения

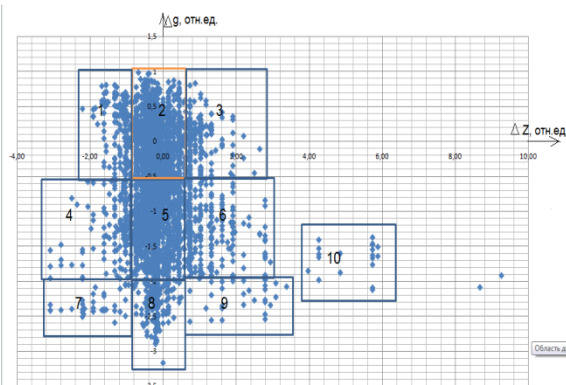


Рисунок 2 – Поле корреляции магнитного и гравитационного полей золоторудного месторождения с выделенными областями распространения предполагаемых структурно-вещественных комплексов

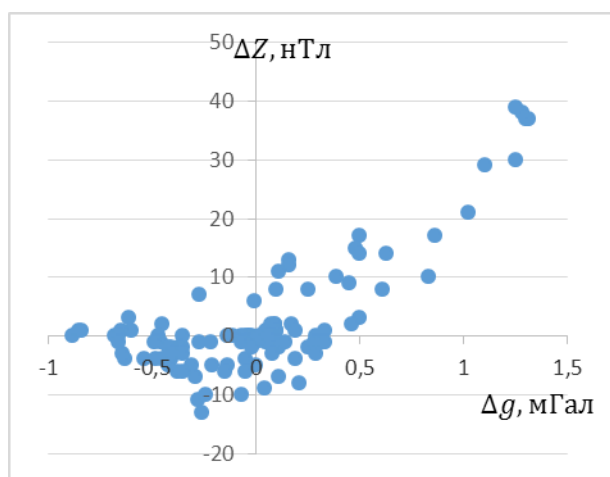


Рисунок 3 – Поле корреляции магнитного и гравитационного полей месторождения куранахского типа

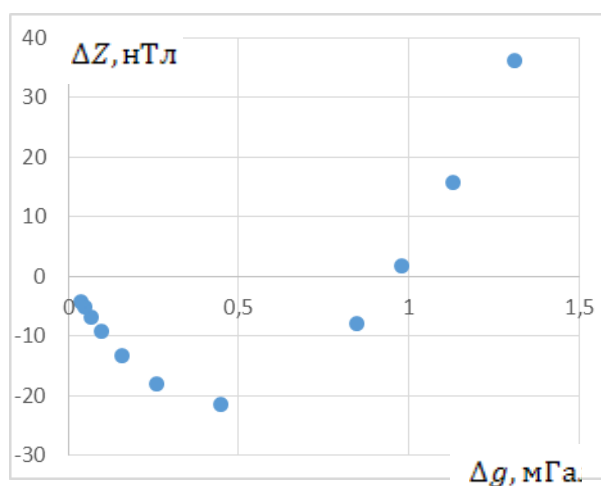


Рисунок 4 – График теоретической взаимосвязи ΔZ и Δg кругового горизонтального цилиндра

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Вып. Золото. Методическое руководство / Под ред. Кривцова А. И. – М.: ЦНИГРИ, 2010. 184 с.
2. Долгаль А. С. Компьютерные технологии обработки и интерпретации данных гравиметрической и магнитной съемки в горной местности. – Абакан: ООО «Фирма-МАРТ», 2002. 188 с.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Крылевская А. Н.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

В настоящее время зачастую приходится выполнять инженерно-геологические изыскания в зимних условиях [1]. В геологическом разрезе при таких условиях нередко наблюдается приповерхностный маломощный слой с высокими значениями скоростей упругих волн. А именно, такой слой может характеризоваться следующими параметрами: мощность промерзлого слоя 0,1-2м; скорость продольных волн в нём $V_{P1}=3500-6000$ м/с; скорость поперечных волн $V_{S1}=1500-3000$ м/с [2]. За счет него образуется инверсный скоростной разрез, и на сейсмограммах наблюдается сложная волновая картина.

Для сравнения приведём сейсмограммы, полученные по одному и тому же профилю, но при разных температурных условиях (рисунок 1). Сейсморазведочные работы проводились методом МПВ.

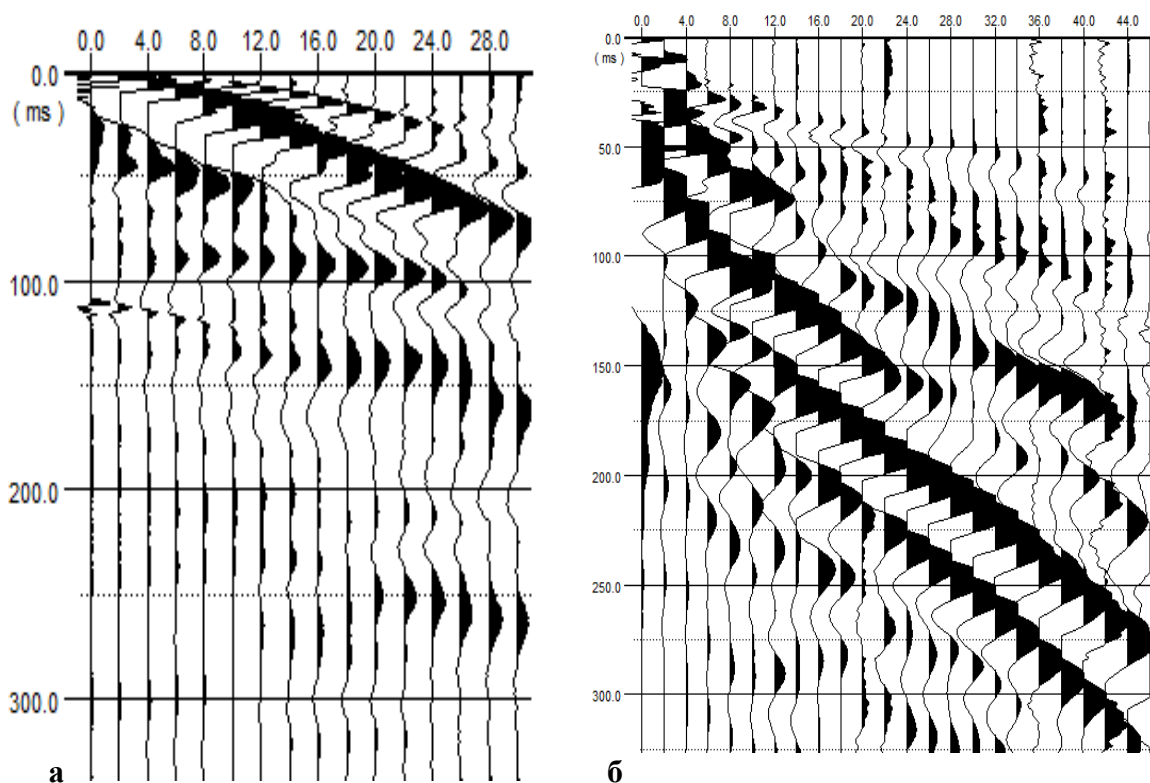


Рисунок 1 – Сейсмограммы, полученные в зимний (а) и в летний период (б)

По сейсмограммам, полученным в зимних условиях (а), можно сделать следующие выводы. Годографы первых вступлений головных продольных волн, как правило, не прослеживаются. Это связано с наличием высокоскоростного слоя промерзшего грунта у поверхности. Этот слой оказывает экранирующее действие на головные волны. Поверхностные релеевские волны так же плохо прослеживаются. На некоторых сейсмограммах прослеживаются дифрагированные волны, что можно использовать в качестве признака

тектонических нарушений. Четких записей поперечных волн не получено. Отраженные волны визуально слабо выделяются, так как являются волнами малой интенсивности.

На сейсмограммах, полученных в летний период, четко выделяются как головные волны от нескольких границ, так и рефрагированные и поперечные волны.

Для решения таких задач нет определенных рекомендаций, каким лучше работать методом сейсморазведки. В основном используют метод преломленных волн, где рассматриваются как продольные, так и обменные волны типа *psp*. Независимая интерпретация позволит повысить точность получаемых результатов [2]. Также используют поперечные волны. В последние годы стали применять метод ВСПВ – высокоразрешающая сейсморазведка на поперечных волнах [3]. Методика основана на использовании отраженных поперечных *SH*-волнах. На рисунке 2 показан временной разрез полученный методом ВСПВ.

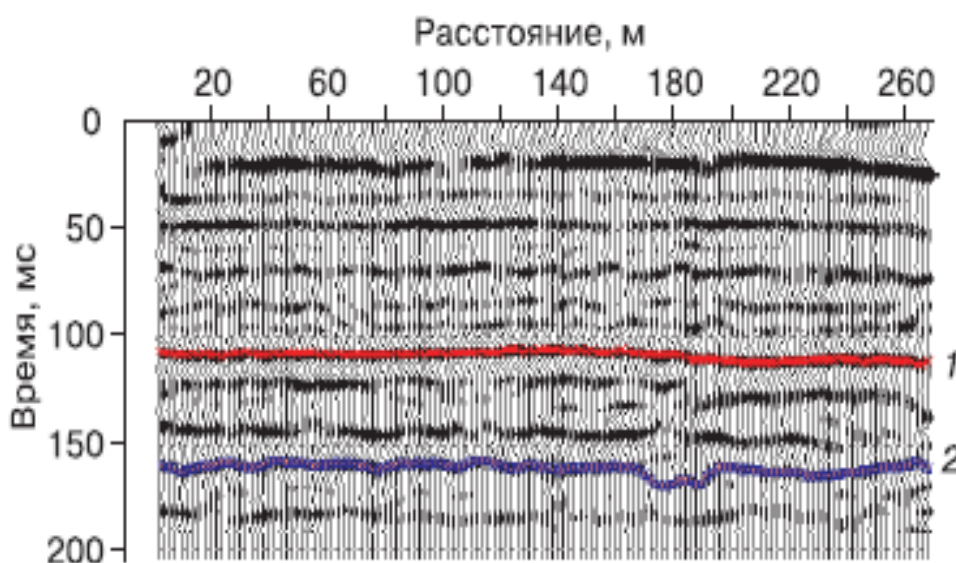


Рисунок 2 – Временной разрез, полученный по методике высокоразрешающей сейсморазведки на поперечных волнах

Для более подробного изучения волнового поля геологической среды, полученной в зимних условиях, нужно провести сравнительное моделирование среды с наличием и отсутствием высокоскоростного слоя.

Таким образом, с помощью моделирования удастся оценить характер прослеживания практически всех типов волн, наблюдаемых при инженерно-сейсмических работах в зимний период.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Огильви А. А. Основы инженерной геофизики. – М.: Недра, 1990.
2. Ляховицкий Ф. М., Хмелевской В. К., Яценко. З. Г. Инженерная геофизика. – М.: Недра, 1989.
3. Скворцов А. Г., Царев А. М., Садуртдинов М. Р. Методические особенности изучения сейсмогеокриологического разреза // Научный журнал «Криосфера Земли». 2011.

ЯВЛЕНИЕ ВЫПАДЕНИЯ СЛОЯ В МЕТОДЕ ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН

Соленцова В. А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

При интерпретации метода преломленных волн (МПВ) в сейсморазведке возникают трудности из-за пропуска слоя, скорость в котором ниже, чем в покрывающем пласте, в результате чего на нем не образуется головной волны. Энергия, которая падает на такой слой под критическим углом, не может проникнуть через вышележащие преломляющие границы, поэтому во вступлениях преломленных волн нет никаких свидетельств его присутствия. Низкая скорость в выпадающем слое, однако, увеличивает времена вступлений от более глубоких преломляющих границ по сравнению с теми, которые наблюдались бы, если бы выпадающий слой имел ту же скорость, что и покрывающий его пласт. В результате происходит завышение глубин нижележащих границ. Другая ситуация, которую тоже нередко называют «выпадением слоя», наблюдается, когда в разрезе имеется слой, скорость в котором выше, чем в покрывающей толще, но, несмотря на это, преломленная волна никогда не выйдет в область первых вступлений по той причине, что слой слишком тонок или же скорость в нем недостаточно превосходит скорость в покрывающей толще. Такой слой породит волну в области последующих вступлений.

Для проверки новых идей используют математическое моделирование, заключающееся в построении сейсмической модели среды и расчета для нее годографов изучаемых волн. В качестве модели среды для нашего исследования выберем трехслойную среду. Предположим, что мощности слоев и скорости во всех трех слоях известны. Рассмотрим случай, когда второй слой слишком тонок, для того чтобы головная волна вышла в зону первых вступлений. Годограф головной волны вычисляется по формуле

$$t_k(x) = t_{nk} + \frac{x - x_{nk}}{V_{k+1}}, \text{ где } k - \text{ номер границы.}$$

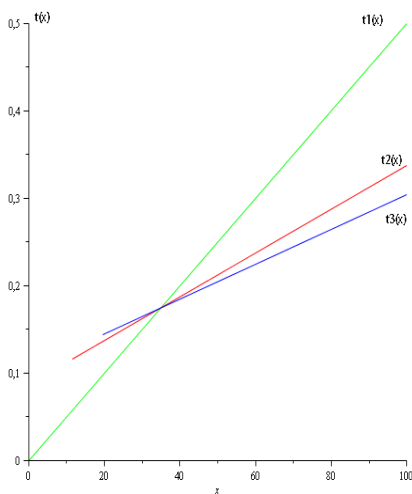


Рисунок 1 – Пример расчета годографов преломленных волн, иллюстрирующий выпадение второго слоя

Если годографы от 2-й и 3-й границ между слоями пересекутся в одной точке, то происходит выпадение слоя. Нами с помощью математического пакета Maple получена формула для вычисления максимальной мощности 2 слоя, при которой происходит явление «выпадения слоя». Для этого мы приравнивали времена в точках пересечения годографов: $t_1(x) = t_2(x) = t_3(x)$. Из этого уравнения можно выразить максимальную мощность второго слоя h_2 , при которой происходит явление выпадения слоя, в форме неравенства:

$$h_2 \leq \frac{A+B}{C},$$

$$\begin{aligned} \text{где } A &= h_1 \cdot \cos i_{23} \cdot V_2 \cdot (V_1^2 \cdot \cos i_{13} \cdot \sin i_{12} + V_1 \cdot V_3 \cdot \cos i_{12} - V_1 V_2 \cdot \cos i_{13} - V_2 \cdot V_3 \cdot \cos i_{12}); \\ B &= h_1 \cdot \cos i_{23} \cdot V_2 \cdot (-V_1^2 \cdot \cos i_{12} \cdot \sin i_{13} + V_1 \cdot V_3 \cdot \sin i_{12} \cos i_{12} - V_1 V_2 \cdot \cos i_{13} \cdot \sin i_{12} - V_2 \cdot V_3 \cdot \cos i_{13}); \\ C &= V_1 \cdot \cos i_{13} \cdot \cos i_{12} \cdot (V_1 - V_2) \cdot (V_2 \cdot \sin i_{12} - V_3). \end{aligned}$$

В формулу входят следующие величины: h_1, h_2, h_3 – мощности слоев; V_1, V_2, V_3 – скорости в слоях.

Углы определяются из соотношений: $\sin i_{12} = V_1 / V_2$; $\sin i_{13} = V_1 / V_3$; $\sin i_{23} = V_2 / V_3$.

Результаты опробования этого подхода к определению предельной мощности второго слоя показаны на рисунке 1. Показанные годографы были рассчитаны для модели среды, в которой задавались мощности первого и третьего слоев, скорости в слоях, а мощность второго слоя оценивалась по приводимой формуле.

О КОЛИЧЕСТВЕННОЙ АМПЛИТУДНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Феоктистова О. В.
ООО «Геология резервуара»

Задачами сейсмической интерпретации является обнаружение аномалий сейсмических записей, связанных с углеводородами и их подтверждение. В настоящее время критерии обнаружения (распознавания) аномалий совершенствуются за счет использования современных методик сбора данных, их обработки и т.д. Сейсмические амплитуды являются одним из основных признаков обнаружения таких аномалий.

Широкое применение методики яркого пятна в нефтяной отрасли началось приблизительно в 80-е годы на западе. В России динамическую интерпретацию применяли еще в 1952-1953 гг.

Позднее, были описаны несколько методов прямого УВ: «яркие пятна», интерференционные эффекты на краях залежей, «плоские пятна» и поглощение (Черлин и Сергеев, 1963).

Способы подтверждения этих аномалий постоянно совершенствуются, они могут дополняться анализом геологических обстановок и развитием новых методик интерпретации и калибровки разных типов данных.

Так, к настоящему времени были достигнуты определенные успехи в определении чувствительности амплитудных эффектов к идентификации поровых флюидов.

Многими авторами анализируются свойства пород, коэффициент отражения, сейсмические данные и AVO – атрибуты, строится огромное количество кроссплотов для прогнозирования состава пород и порового флюида на основе эмпирических наблюдений.

В то же время амплитудная интерпретация не свободна от систематических погрешностей и интерпретатор всегда должен осознавать, какие допущения или погрешности могут содержать амплитудные атрибуты.

В настоящее же время встают вопросы о принципиальной возможности получения количественных изображений, разработки методик калибровки для оценки насыщения и литологии по сейсмическим амплитудам и технологий визуализации.

В связи с этим автор считает необходимым провести анализ некоторых факторов. Например,

- рассмотреть возможность привлечения спектрального анализа в связи с определенными достижениями в интерпретации сигналов акустического каротажа – решением обратной задачи – оценки свойств пород по характеристиками регистрируемых сигналов;
- провести анализ помех и факторов, влияющих на искажение кривых акустических жесткостей в скважинах и амплитуд сейсмических записей;
- рассмотреть критерии требуемого укрупнения или, наоборот, дробления модели геологической среды, т.к. процедуры моделирования не могут быть произвольными;
- вернуться к тем допущениям, которые были сделаны при создании промышленных технологий, при переходе от упругих постоянных к скоростям;
- проанализировать особенности, связанные с возбуждением сигнала и его нестабильностью, совместно с особенностями возбуждения сигнала в скважинной геофизике (поскольку калибровка предусматривает наличие скважинной информации);
- определить критерии и оценить значимость выбора параметров обработки сейсмических трасс.

Анализ этих факторов может приблизить нас к ответу на вопрос о принципиальной возможности получения количественных сейсмических изображений.

К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ

Игумнов С. А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Наиболее распространённым методом определения природных радиоактивных элементов: калия, урана (радия) и тория (последние образуют радиоактивные ряды), а также техногенного цезия-137 – является спектрометрия гамма-излучения. Метод базируется на различии энергий испускаемых ими гамма-квантов, что отражается на различии амплитуд электрических импульсов на выходе детекторов. В результате формируется аппаратный спектр, где квантам каждой энергии соответствуют импульсы напряжения, амплитуда которых распределена по нормальному закону. У наиболее часто используемых сцинтилляционных детекторов образующиеся пики имеют значительную ширину, поэтому при малом различии в энергии квантов происходит наложение пиков и спектр становится непрерывным.

До второй половины 80-х годов большинству лабораторий были доступны только одноканальные спектрометры, в которых подсчитывалось число импульсов, попадающих в широкий амплитудный интервал за единицу времени. Это число является линейной функцией содержаний (активностей) указанных элементов:

$$n_i = a_i Ra + b_i Th + c_i K + d_i Cs + n_{i\phi}, \text{ где } i - \text{ номер интервала.}$$

Проведя измерения в четырёх амплитудных интервалах, можно составить линейную систему уравнений и найти искомые активности. Коэффициенты в уравнениях находят по стандартным образцам, содержащими только один из определяемых нуклидов.

Так как процесс регистрации ядерных частиц является стохастическим, средняя скорость счёта может быть определена только с некоторой погрешностью, относительная величина которой обратно пропорциональна количеству зарегистрированных импульсов. Это приводит к необходимости длительных экспозиций для набора необходимой статистики.

Другим источником погрешностей является нестабильность спектрометрического тракта. Дрейф усиления и начала шкалы приводит к смещению границ рабочих интервалов относительно спектра, что вызывает изменение коэффициентов уравнений и значительные погрешности в результатах.

Во второй половине 80-х годов появились достаточно компактные многоканальные анализаторы (АИ-1024-95-17, АМА-03Ф4), сочленяемые с персональными компьютерами. Катастрофа на Чернобыльской АЭС привела к необходимости проведения массового контроля радиационной чистоты продуктов питания, воды, уровня загрязнения почв и т. д. Это способствовало появлению при ряде НИИ ядерных технологий малых предприятий, выпускающих спектрометрические комплексы. Комплексы строились на базе персональных компьютеров, а многоканальные анализаторы уменьшились до размеров платы, вставляемой в слот компьютера. Широкое распространение получил комплекс «Прогресс», выпускаемый НПП «Доза» при ВНИИФТРИ; гамма-спектрометр «Гамма-01» фирмы «Аспект» при ОИЯИ; спектрометр, выпускаемый НТЦ «Радэк» при ВНИИМ, и др.

Использование многоканальной спектрометрии существенно увеличивает объём получаемой информации, однако программное обеспечение, поставляемое с указанными комплексами, использовало методику, разработанную для одноканальных спектрометров (суммирование по четырём интервалам), так что значительная часть информации терялась. При этом сохранялись на прежнем уровне как статистические погрешности, так и аппаратные, вызванные нестабильностью спектрометрического тракта. Для повышения стабильности разработчики аппаратуры были вынуждены оснащать блоки детектирования реперными источниками. Так, в сцинтилляционных гамма-детекторах, выпускаемых НПП «Аспект», устанавливается светодиодный реперный источник, управляемый микропроцессором, что обеспечивает стабильность характеристики преобразования в пределах 1 % [1].

Существенное повышение степени извлечения содержащейся в спектре информации даёт использование метода наименьших квадратов. Метод заключается в построении модельного спектра с таким подбором параметров (активностей радионуклидов C_i), которые минимизируют целевую функцию, представляющую собой взвешенную сумму $Q(C_i)$ квадратов отклонений реального спектра от модели, построенной по эталонным спектрам.

$$Q(C_i) = \sum_k W(k) \cdot \left[S(k) - B(k) - \sum_i C_i F_i(k) \right]^2,$$

где k – номер канала; $W(k)$ – весовые коэффициенты; зависящие от числа зарегистрированных в канале импульсов; $S(k)$ – спектр, приведённый к стандартной экспозиции и массе пробы; $B(k)$ – фон; $F_i(k)$ – эталонный спектр i -го радионуклида. Приравнявая нулю частные производные $\partial Q/\partial C_i$, получают систему линейных уравнений, позволяющую найти искомые активности. Увеличение числа каналов, вовлечённых в обработку, заметно улучшает статистику и снижает статистическую погрешность.

В случае изменения коэффициента усиления спектрометрического тракта или смещении начала шкалы реальный спектр будет смещён относительно модельного и в качестве аргумента функции S должна фигурировать величина $ak+b$. Представляя функцию $S(ak+b)$ степенным рядом и ограничиваясь членами 1-го порядка, можно найти коэффициенты a и b из условия минимизации целевой функции Q , в которую добавляются ещё два аргумента. Поскольку $S()$ не является линейной функцией параметров a и b , полученные значения этих параметров являются лишь первыми приближениями, используемыми для масштабирования. Последующие приближения находятся итерационным путём.

Рассмотренный метод был реализован в программе «Спектр МНК», которая с 1993 года успешно используется в ряде лабораторий радиационного контроля Волго-Уральского региона. Эффективность использования рассматриваемого метода может быть проиллюстрирована приводимой ниже таблицей 1 сопоставления воспроизводимости результатов измерений контрольных образцов, периодически в течение полугодия проводимых в одной из лабораторий радиационного контроля Екатеринбурга [2]. Спектры, полученные на комплексе «Прогресс», были обработаны резидентной программой, а также программами «ЛСРМ» и «Спектр МНК».

Таблица 1 – Сравнительная эффективность программ обработки спектров

Нуклид	Уд. акт, Бк/кг	Воспроизводимость, Бк/кг			Уд. акт, Бк/кг	Воспроизводимость, Бк/кг		
		Прогресс	ЛСРМ	МНК		Прогресс	ЛСРМ	МНК
Ra-226	100	8,3	8,2	6,2	850	41	74	9,8
Th -232	75	3,9	5,6	2,0	480	13	34	5,0
K -40	360	44	27	19	2400	178	174	40
Cs -137	35	6,8	4,6	2,5	260	34	20	3,4

Легко видеть, что воспроизводимость результатов, полученная при обработке спектров программами «Прогресс» и «ЛСРМ», находится примерно на одном уровне, тогда как обработка программой «Спектр МНК» во всех случаях обеспечивала заметно лучшую воспроизводимость. Особенно ярко это проявилось для пробы с высокими активностями, где существенный вклад даёт аппаратная нестабильность. Однако и для малоактивной пробы, где разброс обусловлен статистикой отсчётов, воспроизводимость лучше в 1,5-2 раза, что позволяет уменьшить время анализа в 2-4 раза без ущерба для точности анализа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лизунов Е. М., Пугачев А. Н. (НПЦ «Аспект»). Система стабилизации характеристики преобразования сцинтилляционных детекторов гамма – излучения// V Межд. совещание «Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии ППСР-2001».
2. Игумнов С. А., Семёнов В. С., Фёдоров В. А. Экспериментальная проверка эффективности программ обработки сцинтилляционных спектров // Радиационная безопасность Урала и Сибири. Матер. Всероссийской научно-практической конференции, г. Екатеринбург, 1997.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ И ПРОНИЦАЕМОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ 3D МОДЕЛЕЙ, ОСНОВАННЫХ НА АНАЛИЗЕ ФРАКТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ РЕЗУЛЬТАТОВ КАРОТАЖА

Демехов Ю. В.¹, Горелов И. Г.³, Макаров В. В.³, Румянцев Д. Р.², Савин Е. А.⁴, Талалай А. Г.⁴
¹НАК «Казатомпром», ²ООО Концерн «НЕДРА», ³НИПИ НГ, ⁴ФГБОУ ВПО «УГГУ»

В последние пятнадцать лет в геологии и геофизике интенсивно развивается статистическая теория фракталов. Один из разделов теории фракталов относится к оценке степени неоднородности коллекторов в пространстве между скважинами. Важным достоинством теории фракталов является возможность ее применения для математического моделирования свойств геологических объектов большого объема при использовании в качестве исходных данных статистических характеристик этого же объекта, относящихся к несопоставимо меньшим объемам. К подобной задаче относится, например, моделирование распределения коллекторов в межскважинном пространстве по данным каротажных диаграмм, полученных в скважинах, пробуренных на рассматриваемой площади. Фрактальные соотношения позволяют судить о том, как в заданном направлении, вертикальном или горизонтальном, располагаются породы определенного свойства (пористости (проницаемости)), т. е. какова их прерывистость, насколько протяженным может быть каждый непрерывный отрезок пласта данного типа и как далеко могут отстоять друг от друга в принятом направлении участки пласта с одинаковыми свойствами. Особенности пространственной изменчивости коллекторов, которые влияют на движение флюида, отражаются фрактальными соотношениями в статистическом аспекте достаточно надежно.

При разведке и разработке месторождений урановых руд необходим постоянный контроль качества руды, требующий проведения большого объема опробования. Результаты опробования по данным буровых работ не всегда соответствует предъявляемым требованиям из-за неполного выхода керна и разрывами во времени между процессами его отбора и анализа [1]. Кроме того, отбор керна является трудоемкой и дорогостоящей операцией. В этой связи большое значение приобретают бескерновые методы опробования урановых руд.

Бескерновые методы определения содержания урана особенно необходимы в процессе подземного выщелачивания урановых руд. Опробование по гамма-лучам в рассматриваемом случае малоэффективно из-за погрешностей, связанных с нарушением радиоактивного равновесия руд в процессе их выщелачивания. В результате точность подсчета запасов снижается. В основе каротажа нейтронов деления (КНД-М) лежит изучение нейтронного поля, вызванного точечным источником первичного нейтронного излучения. Присутствующие в горных породах ядра урана делятся под воздействием первичного нейтронного поля и являются источниками вторичного нейтронного излучения. Поток вторичных нейтронов пропорционален содержанию урана в среде. Эту связь и используют на практике при разведке радиоактивных руд [2].

В период 2008 - 2009 гг. проведены исследования записей диаграмм канала ИННК-Т (импульсного нейтрон-нейтронного каротажа по тепловым нейтронам) приборов каротажа нейтронов деления КНД-60 и КНД-53 с целью определения фрактальных свойств и возможность использования фрактального анализа для построения разрезов рудовмещающих отложений. Исследования подтвердили перспективность фрактального анализа в построении разрезов на основе параметра открытой пористости, полученного на основе данных каротажа КНД-М и импульсного нейтронного каротажа ИННК-Т, скважинных приборов КНД-53 и КНД-60 [3]. Иллюстрация построения разреза параметра K_{no} (открытая пористость, %), основанная на фрактальном анализе каротажных диаграмм рудовмещающих отложений, продемонстрирована на рисунке 1.

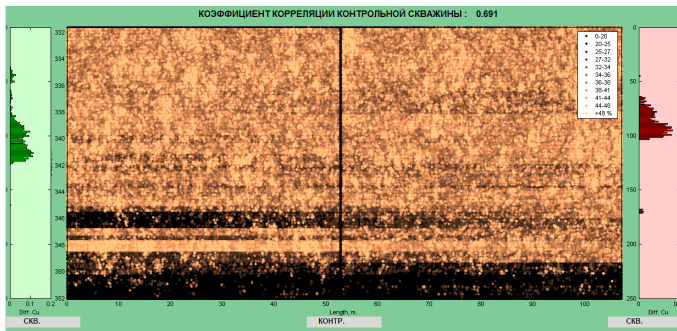


Рисунок 1 – Разрез $K_{по}$ по линии скважин XXXX9 - XXXX0 - XXXX6

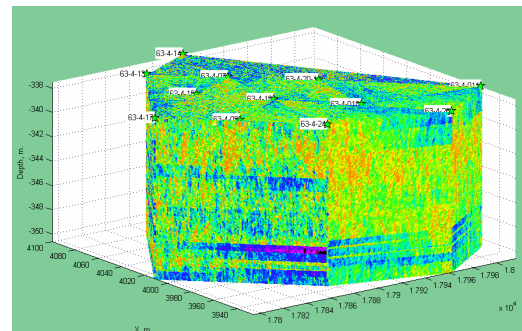


Рисунок 2 – Модель коэффициента фильтрации $K_ф$.

Следующим этапом было построение 3D цифровой модели открытой пористости части блока ПСВ (подземного скважинного выщелачивания) месторождения Казахстана (по данным за 1973-1980 гг., Петров и др.) на основе фрактальной геостатистики.

Следующим шагом было определение уравнения связи $K_ф \sim f(K_{по})$ и построение 3D модели коэффициента фильтрации (проницаемости) $K_ф$ (м/сут) для части блока ПСВ месторождения (рисунок 2). Основной задачей построения 3D модели коэффициента фильтрации (проницаемости) $K_ф$ для части блока ПСВ является получение входных расчетных данных для специализированного трехмерного гидродинамического симулятора (генератор линий тока). Модули симуляторов (RMS^{stream} и др.) представляют большие возможности в визуализации основных закономерностей движения растворов в форме линий тока. С помощью модулей могут быть получены параметры, отражающие время движения раствора, дренируемые регионы и дренируемые объемы по скважинам, и определение основных потоков.

Основной поставленной задачей 3D моделирования рудного тела и построения линий тока ВР гидродинамическим симулятором является оптимизация посадки фильтров скважин для максимально эффективной отработки уранового рудного тела в блоках ПСВ.

Выводы:

- программно реализован метод построения цифровой модели 3D проницаемости блока ПСВ по фрактальным параметрам диаграмм каротажа ИННК-Т и КНД-М;
- построена цифровая 3D модель рудного тела в пределах части блока ПСВ по данным дифференциальной интерпретации каротажа КНД-М;
- на основе цифровой модели 3D проницаемости специализированным трехмерным гидродинамическим симулятором смоделирована сеть лент тока растворов, оценены дренируемые объемы рудного тела в пределах части блока ПСВ;
- возможна оценка объемов и интенсивность выщелачивания уранового рудного тела, что в свою очередь может быть использовано для многовариантного опробования схемы посадки фильтров нагнетательных и откачных скважин полигонов ПСВ;
- реализована возможность оптимизированной доработки части блоков полигонов ПСВ с не извлеченным ураном в ограниченных объемах («целиках»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Давыдов Ю. Б., Демехов Ю. В., Машкин А. И., Перельгин В. Т., Румянцев Д. Р., Талалай А. Г. Каротаж нейтронов деления для определения содержания урана в скважинах на гидрогенных месторождениях, обрабатываемых способом подземного выщелачивания. – Екатеринбург: Изв. вузов. Горный журнал, 2010. № 3. С. 106-113.
2. Давыдов Ю. Б., Кузин В. Ф. Теоретические предпосылки каротажа нейтронов деления. – Новосибирск: ВО «Наука», 1994.
3. Демехов Ю. В., Перельгин В. Т., Румянцев Д. Р., Талалай А. Г. Решение новых задач при разведке и эксплуатации месторождений урана гидрогенного типа новыми скважинными приборами КНДМ // Материалы II Международного симпозиума «Уран: ресурсы и производство», г. Москва, 2008.

КАФЕДРЕ ГЕОФИЗИКИ – 60 ЛЕТ

Возжеников Г. С., Талалай А. Г., Сквородников И. Г.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

На рубеже 40-50-х годов по инициативе академика И. В. Курчатова для обеспечения специалистами научных и производственных организаций в ряде вузов страны была организована подготовка инженеров выпускающими кафедрами ядерно-геофизического профиля: в Московском геологоразведочном институте – МГРИ (В. И. Баранов, А. С. Сердюкова, Д. Ф. Зимин), Ленинградском университете – ЛГУ (В. А. Мейер, А. А. Сатурин, П. А. Ваганов), Ленинградском горном институте – ЛГИ (Г. Ф. Новиков, Ю. Н. Капков, А. Я. Сеницын), Московском институте нефтехимической и газовой промышленности – МИНХиГП (В. Н. Дахнов, В. В. Ларионов, Д. А. Кожевников), Свердловском горном институте – СГИ (Н. А. Иванов, Ю. П. Булашевич, Г. С. Возжеников).

В соответствии с приказом № 83 по СГИ от 01.09.1953 г. была создана кафедра рудной геофизики с целью подготовки геофизиков-разведчиков для Первого Главного управления Мингео и Минсредмаша СССР. Этому соответствовало и ее название – «Кафедра геофизических методов поисков и разведки редких и радиоактивных металлов», для краткости – «Кафедра рудной геофизики».

Организатором кафедры и ее первым заведующим был известный уральский геофизик, профессор, доктор наук Иванов Николай Александрович. В составе кафедры рудной геофизики было два штатных сотрудника: В. Н. Микшевич и Н. Д. Теплых.

Курс лекций по радиометрии в СГИ (ныне УГГУ) был впервые (1952) прочитан профессором Н. А. Ивановым. В течение нескольких лет (1954-1959 гг.) лекции по радиоактивной разведке для студентов ядерно-геофизической специальности читал профессор Ю. П. Булашевич, который работал в те годы при кафедре геофизических методов поисков и разведки месторождений радиоактивных руд и редких металлов в качестве совместителя. Общий объем курса, который вел Ю. П. Булашевич, составлял более 300 часов, половина из которых отводилась для лекций, а другая половина – для лабораторных работ. Лабораторные работы включали изучение радиометрической аппаратуры, которую кафедра получала, в основном, через своих выпускников, работавших в экспедициях Первого главного геологоразведочного управления.

Начиная с 1959 г. курс лекций по радиоактивной разведке после ухода Ю. П. Булашевича был поручен Г. С. Возженикову. Профессор Возжеников Г. С. первым в СГИ подготовил и прочитал спецкурс по ядерной геофизике. Лекции по радиометрии для студентов «неядерных» специализаций после перехода профессора Н. А. Иванова в Институт геофизики с 1960 г. до ухода на пенсию читал доцент В. Н. Микшевич, а с 1990 г. этот курс вел профессор Г. С. Возжеников.

Кроме курса по радиоактивной разведке, являющегося профилирующим для студентов ЯГФ-специализации (прием на эту специализацию был прекращен с 1995 г. после объединения «ядерной» и «рудной» кафедр), в учебном плане предусматривались спецкурсы по радиометрической аппаратуре и рудничной радиометрии, которые в разные годы вели С. А. Игумнов и А. В. Давыдов, В. Н. Микшевич и А. Г. Талалай. Лекции по дозиметрии ядерных излучений читал доцент И. И. Бреднев. В течение нескольких последних лет, предшествовавших реорганизации выпускающих кафедр геофизического факультета, студенты ЯГФ-специализации занимались компьютерной обработкой результатов ЯГФ-измерений. Занятия по обработке результатов измерений вели А. В. Давыдов, А. Г. Шампаров, Ю. В. Бельшев и Ж. Н. Александрова. Лекции по комплексированию для студентов «ядерного» профиля читали профессор Н. А. Иванов, доцент В. Н. Микшевич и доцент А. Г. Талалай. Лабораторные и практические занятия по дисциплинам ЯГФ-цикла в разное время проводили (или проводят в настоящее время) В. Н. Микшевич, А. И. Соколова, Г. С. Возжеников, И. И. Бреднев, С. А. Игумнов, И. Г. Сквородников, Ю. Б. Давыдов,

А. В. Давыдов, А. Г. Шампаров, Г. Г. Коргуль, А. Л. Загорюев, Н. А. Черепанов, А. Г. Талалай, Ю. В. Бельшев, Ж. Н. Александрова.

Первый выпуск инженеров-геофизиков ядерного профиля на геофизическом факультете СГИ состоялся в 1953 г., последний выпуск (группа РФ-92-1) – в 1996 г. За более чем сорокалетний период развития ядерно-геофизической специальности подготовлено более 1000 (точная цифра 1005) выпускников, специалистов по дистанционному изучению особенностей состава природных сред. При этом каждый десятый из выпускников ядерного профиля рано или поздно становится кандидатом наук, а 20 выпускников уже защитили докторские диссертации (Антонов В.А., Бахтерев В. В., Возжеников Г. С, Возжеников С. Г., Григоркин Б. С., Давыдов А. В., Демежко Д. Ю., Исаев Г. А., Краснобаев А. А., Кучурин Е. С., Марченко В. В., Плохих Н. А., Притчин Б. П., Пшеничный Г. А., Рыжий Б. П., Сквородников И. Г., Талалай А. Г., Черменский В. Г., Шестаков В. В., Щапов В.А.).

Ядерно-геофизическое (ЯГФ) направление научных исследований в УГГУ зародилось после создания кафедры геофизических методов поисков и разведки месторождений радиоактивных руд и редких металлов (1953). Первые публикации сотрудников по профилю новой кафедры появились лишь в конце 50-х годов, первая защита кандидатской диссертации состоялась в 1961 г., а в 1962 г. было зарегистрировано первое изобретение в области дистанционного изучения состава природных сред.

Еще до организации кафедры ее будущие сотрудники начали развивать перспективное научное направление, связанное с разработкой и усовершенствованием методов и средств дистанционного изучения состава и свойств пород и руд. Инициатором этих исследований был Н. А. Иванов, продолжил их Г. С. Возжеников, доказавший в 1956 г. принципиальную возможность бескернового определения содержания меди в рудных подсечениях методом нейтронной активации. В конце 60-х годов И. И. Бреднев и С. А. Игумнов под руководством Г. С. Возженикова начали исследования по разработке метода экспрессной оценки зольности углей, получившего высокую оценку ученых и практиков.

Дальнейшее развитие метод нейтронной активации получил в работах Ю. Б. Давыдова и других, который предложил использовать при бескерновом определении меди и цинка генераторы быстрых нейтронов.

В 80-е годы тематика научных исследований расширилась. В это время А. Л. Загорюевым были проведены работы по применению комплекса ядерно-геофизических методов для установления критериев хрусталеносности жильного кварца. Г. Г. Коргулем и А. Г. Шампаровым под руководством А. В. Давыдова были начаты разработки ядерно-геофизической аппаратуры. С. Г. Возжеников предложил использовать гамма-абсорбционный метод и нейтронно-активационный анализ для создания новых технологий оперативного и непрерывного контроля качества горнорудного сырья.

А в настоящее время на счету сотрудников кафедры более 50 изобретений, защищенных авторскими свидетельствами СССР и патентами РФ, на способы и устройства для ядерно-геофизических исследований.

Характерной особенностью научной деятельности геофизиков УГГУ ядерного профиля является широкий круг интересов, связанных с актуальными нуждами производственных организаций. Речь идет о разработке теории, технологии и технических средствах, необходимых для получения достоверной информации о составе и свойствах природных сред на расстоянии. Темы исследований обычно связаны с поисками, разведкой и эксплуатацией месторождений черных, цветных и драгоценных металлов, радиоактивных руд и редких элементов, энергетического сырья и нерудных полезных ископаемых, ревизии техногенных объектов и радиоэкологии.

ЯДЕРНОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Глушкова Т. А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

На сегодняшний день для обнаружения золота на стадии поисковых работ и определения его содержания при дальнейших исследованиях в горных породах, рудах, воде разработан ряд методических рекомендаций и методик.

Основными аналитическими методами определения золота применительно к геологии и горнодобывающей промышленности считаются пробирный анализ, фотометрические, спектральные, рентгено-флуоресцентные и активационные методы.

Пробирный анализ основан на способности соединений золота легко разлагаться при низкой температуре, на свойстве золота легко образовывать сплавы со свинцом с низкой температурой плавления и легко отделяться от него при окислительном плавлении сплава. Извлеченное золото взвешивается и определяется его содержание, приведенное к первоначальной массе пробы.

Пробирная плавка пробы позволяет применять навески 50-100 г, при этом извлечение золота полнее, чем при любом другом способе растворения. Порог обнаружения составляет 0,5 г/т ($5 \cdot 10^{-5} \%$).

Фотометрические методы. Фотометрические методы основаны на поглощении света окрашенными растворами, где золото присутствует в виде комплексных соединений, продуктов окисления или золей. По величине фотопоглощения определяют концентрацию золота в растворе, используя закон Бэра.

Чувствительность метода лежит в пределах 0,005-0,1 г/т ($5 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-5} \%$).

Спектральные методы. Спектральные методы широко используются в аналитической химии золота из-за высокой чувствительности, экспрессности и простоты выполнения. Различают прямой спектральный метод, где образец сжигают в дуге и изучают эмиссионный спектр, химико-спектральный, где анализируемый элемент предварительно концентрируют химическим способом, и атомно-абсорбционный, основанный на поглощении фотонов веществом пробы. Прямые спектральные методы в геологической службе применяются редко.

Химико-спектральные методы имеют утвержденные методики. В первом случае пробу разлагают смесью кислот, осаждают золото в виде комплексных соединений и атомной абсорбцией определяют его концентрацию. Диапазон определений 0,07-5 г/т ($7 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-4} \%$). Сущность второй методики заключается в разложении предварительно обожженной пробы, экстракционном концентрировании золота из соляного раствора и анализе экстракта пламенным атомно-абсорбционным методом. Диапазон определений от 0,1-20 г/т ($1 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-4} \%$).

Сочетание пробирного концентрирования с последующим определением атомно-абсорбционным методом позволяет определять золото на уровне 0,1-2 г/т ($1 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-4} \%$).

Рентгеновские методы. Исследования по рентгенорадиометрическому анализу золоторудных проб, в основном, проводилось с использованием полупроводниковых детекторов. Для регистрации фотонов аналитической линии золота использовались как германий-литиевые, так и кремний-литиевые детекторы. Анализ проводился по К-серии и по L-серии характеристического излучения золота ($E_K = 69$ кэВ, $E_L = 10$ кэВ).

Порог чувствительности оценен в 20 г/т (0,002 %) и 0,2 г/т ($2 \cdot 10^{-5} \%$).

Активационные методы. Различают следующие модификации активационного анализа: нейтронный (НАА), фотонный (ФАА), гамма-активационный, анализ на заряженных частицах (ААЗЧ).

Методика определения золота в рудах и породах при содержаниях 0,1-1,0 г/т и 1,0-50,0 г/т на рентгенофлуоресцентном спектрометре «Спектроскан». Методика предназначена для экспрессного определения содержания золота методом рентгенофлуоресцентного анализа в диапазоне концентраций 0,1-1,0 г/т (при отсутствии

элементов, образующих осадок основных солей: Sn (IV), Sb (III, V), Ti (IV), Mo,) и 1,0-50,0 г/т. Метод заключается во вскрытии точной навески измельченной породы (руды), селективном концентрировании золота на сорбционной колонке, элюировании концентрата, нанесении элюэнта с концентратом на бумажный фильтр и определении концентрации золота рентгенофлуоресцентным методом. Если массовая концентрация золота в исследуемой пробе превышает 50 г/т, то возможно прямое определение содержания золота без предварительного его выделения и концентрирования. Методика позволяет определять содержание золота в диапазоне концентраций 1,0-50,0 г/т.

Метод фундаментальных параметров. Программа безэталонного рентгеноспектрального флуоресцентного анализа с использованием метода фундаментальных параметров предоставляет уникальную возможность проводить безэталонный количественный анализ без использования стандартных образцов сравнения, либо работать в режиме классического способа фундаментальных параметров с использованием одного стандартного образца для каждого анализируемого продукта. Включает в себя качественный анализ; безэталонный анализ; эталонный анализ методом фундаментальных параметров.

Область применения программы:

- входной контроль качества и сортов продукции на складах, при переработке вторичного сырья на металлургических и других предприятиях;
- определение марок сталей и сплавов;
- анализ образцов, для которых не существуют, труднодоступны или очень дороги эталоны;
- анализ образцов неизвестного состава;
- анализ образцов, которые не могут быть подвергнуты пробоподготовительным операциям с целью создания плоской шлифованной поверхности, необходимой при использовании общепринятых методик РСФА;
- анализ образцов, которые не должны изменить своего вида.

Нейтронный активационный многоэлементный анализ горных пород, руд и отходов промпредприятий. Методика нейтронного активационного количественного анализа горных пород, руд, минералов, продуктов и отходов их переработки, почв для определения в них содержания следующих элементов La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Gd, Ho, Yb, Lu, Th, Sc, Au, Ta, W, As, Sb, Re, Hf, Hg, Co заключается в облучении исследуемых проб в реакторе потоком тепловых нейтронов и последующем измерении наведенной активности на гамма-спектрометре с полупроводниковыми детекторами.

На точность нейтронного активационного анализа влияет ряд факторов, к важнейшим из которых относятся: эффект самоэкранирования; конкурирующие реакции; микропримеси в материале упаковки; периодичность потока нейтронов; интерферирующее излучение.

Для анализа сплавов был применен метод фундаментальных параметров, а для количественного определения микропримесей – компараторный вариант нейтронного активационного анализа.

Компараторный нейтронный активационный анализ (НАА). Компараторный вариант НАА, в основе которого лежит пропорциональность удельных активностей радионуклидов сопоставляемых элементов, позволяет получать данные о любом элементе при наличии в спектре пробы гамма-линии соответствующего ему радионуклида. Изучена возможность безэталонного активационного анализа отходов промпредприятий и почв и предложена методика компараторного нейтронно-активационного определения ряда элементов. Для элементного анализа отходов промышленных производств (шлаки, шламы, зола) и почв было предложено использовать в качестве элемента-компаратора пару элементов золото-скандий или только скандий, который обладает хорошими активационными характеристиками и присутствует во многих видах отходов, что позволяет производить дополнительный контроль правильности. Золото, как элемент, для которого хорошо изучены активационные характеристики, наиболее часто применяется в качестве элемента-компаратора при исследовании элементного состава различных объектов. При исследованиях было принято, что распределение резонансных нейтронов в рабочем канале реактора подчиняется закону $1/E$.

ФРАГМЕНТЫ ТЕОРИИ И МЕТОДИКИ РАДИОМЕТРИИ СКВАЖИН

Давыдов Ю. Б., Талалай А. Г.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Повышение экономической эффективности разведки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых может быть достигнуто путем внедрения в производство геолого-разведочных работ современных достижений науки и техники. Успешное решение этой задачи в значительной мере определяется внедрением методики опробования месторождений полезных ископаемых по данным каротажа естественного, наведенного и захватного гамма-излучения. Опыт работ показывает, что методика прямого определения содержания полезных компонентов по результатам радиометрии скважин позволяет получить надежные исходные данные для подсчета запасов полезных ископаемых в недрах в условиях их естественного залегания. При этом содержание полезных компонентов находится с хорошей точностью и дешевле, чем по данным геологического опробования керна.

Авторами рассмотрены вопросы обоснования применимости диффузионного приближения теории переноса ядерного излучения в горных породах и решение на этой основе ряда прямых и обратных задач радиометрии скважин. Приведены результаты теоретического и экспериментального (модельного и натурального) изучения факторов, влияющих на точность и достоверность ядернофизического опробования полезных ископаемых по гамма-лучам в скважине. Даны рекомендации по методике гамма-измерений, интерпретации результатов и учету влияния мешающих факторов при определении параметров переноса ядерного излучения, содержания полезных компонентов и мощности продуктивных пластов, пересеченных буровой скважиной.

В итоге выполненных исследований показано, что диффузионное приближение теории переноса ядерного излучения позволяет получить последовательную теорию для широкого круга гамма-методов опробования природных сред в скважинах:

- получены аналитические выражения, составлены вычислительные алгоритмы для расчета полей естественного, наведенного и захватного гамма-излучения в горных породах, пересеченных буровой скважиной, выполнен анализ результатов численного расчета;
- на основе диффузионного приближения решены прикладные задачи гамма-опробования полезных ископаемых по данным каротажа естественного, искусственного и индуцированного нейтронами прямого и рассеянного гамма-излучения,
- исследованы факторы, влияющие на точность определения содержания полезных компонентов по данным гамма-измерений в скважинах, получены оптимальные рекомендации по методике работ и интерпретации результатов радиометрии скважин, являющиеся следствием теоретических и экспериментальных исследований.

Рассмотрены вопросы, связанные с переносом ядерного излучения изотопных источников в горных породах, содержащих радиоактивные нуклиды естественного и искусственного происхождения.

Для правильного истолкования результатов радиометрии скважин исследованы количественные закономерности переноса естественного гамма-излучения, первичных нейтронов и индуцированного нейтронами гамма-излучения в продуктивных горных породах, пересеченных буровой скважиной. Получена оценка влияния геологических условий залегания продуктивных пластов, их мощности, угла встречи со скважиной, геометрии измерений, длины счетных трубок, строения ближней к детектору зоны, наличия бурового раствора, обсадки, зоны цементации, каверн, вещественного состава среды, влажности и плотности горных пород на величину потока естественного и индуцированного нейтронами гамма-излучения горных пород в скважине. На основе численных расчетов созданы средства количественной интерпретации результатов радиометрии скважин, теоретические палетки и расчетные графики для введения поправок в результаты каротажа на влияние мешающих факторов.

Исследовано пространственное распределение естественного гамма-излучения в скважине и окружающей ее горной породе. Рассмотрены методы интегральной и дифференциальной интерпретации результатов каротажа и дана оценка устойчивости решения обратной задачи гамма-каротажа скважин.

Рассмотрены вопросы пространственного распределения потока первичных нейтронов и индуцированного нейтронами гамма-излучения в однородных и квазиоднородных средах с учетом влияния геометрии оруденения, конструкции скважины и ближней к детектору зоны. Закономерности переноса индуцированного гамма-излучения рассмотрены применительно к интегральной и спектрометрической модификациям каротажа наведенного и захватного гамма-излучения. Выполнен расчет потоков наведенного и захватного гамма-излучения в условиях буровой скважины. Дана оценка влияния различных мешающих факторов на результаты каротажа наведенного и захватного гамма-излучения.

Рассмотрены методические вопросы каротажа естественного, наведенного и захватного гамма-излучения, способы энергетической и временной селекции гамма-излучения. Теоретические исследования позволили сформулировать оптимальные требования к методике работ и интерпретации результатов радиометрии скважин. Изучены основные факторы, влияющие на точность определения содержания полезных компонентов при поисках и разведке месторождений металлов, неметаллических полезных ископаемых и углеводородного сырья, найдены условия, при которых результаты измерений наиболее точны и достоверны.

Основное внимание уделено стационарным методам радиометрии скважин, основанным на измерении интегральных потоков гамма-излучения детекторами с изотропной угловой чувствительностью. Эти методы являются основой для развития импульсных, спектрометрических и направленных гамма-измерений в скважинах.

В методической части рассмотрены вопросы методики радиометрии рудных скважин на примере месторождений медных руд.

Наиболее подробно результаты исследования закономерностей переноса и пространственного распределения естественного и индуцированного нейтронами гамма-излучения продуктивных горных пород, пересеченных буровой скважиной, представлены в научной монографии «Фрагменты теории и методики радиометрии скважин».

АППАРАТУРА ПРЯМОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА В СКВАЖИНАХ (КНД)

Демехов Ю. В.¹, Румянцев Д. Р.², Савин Е. А.³
¹НАК «Казатомпром», ²ГК «Недра», ³ФГБОУ ВПО «УГГУ»

Традиционным методом при геофизических исследованиях скважин, пробуренных на месторождениях урана гидрогенного типа, является гамма-каротаж (ГК), данные которого позволяют рассчитать среднюю концентрацию урана в рудном интервале, пересеченным скважиной. Применение метода ГК базируется на предположении о постоянстве коэффициента радиоактивного равновесия в руде. Однако, основные параметры подсчета запасов (тоннаж и среднее содержание урана), определяемые с помощью гамма-каротажа, могут иметь значительные погрешности.

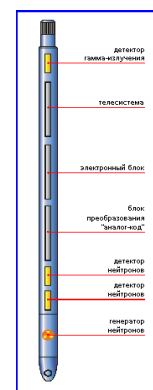
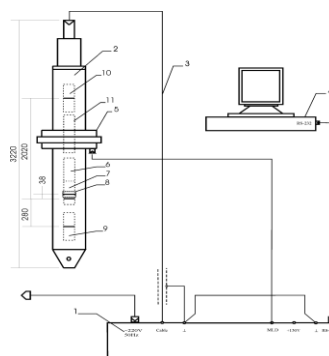
Метод каротажа мгновенных нейтронов деления решает задачу прямого определения концентраций урана в естественном залегании, возникающих в результате облучения ураносодержащей залежи дейтерий – тритиевыми нейтронами с энергией 14,1 МэВ от импульсного генератора. Быстрые нейтроны замедляются до тепловой энергии и вызывают деление ядер урана-235. Определение урана-238 основано на постоянстве соотношения $U-238/U-235$.

КНД исключает погрешности, вызванные нарушением радиоактивного равновесия между продуктами распада урана (Ra-226), обусловленное их различной миграционной способностью.

Двухзондовый каротаж нейтронов деления позволяет напрямую определять содержание урана в рудном интервале, исключая влияние других факторов в скважине, заполненной грунтовыми водами, слабокислым, слабощелочным или буровым растворами.

Блок схема аппаратного комплекса КНД (двухзондовый стандарт) и технические характеристики

Диапазон измерения водонасыщенной пористости, %	0-30
Порог чувствительности определения урана, %	0-0,05
Диапазон измерения МЭД, мкр/час	0-10000
Предел основной относительной погрешности, %	2-5
Код передачи данных	Манчестер -2
Максимальная рабочая температура, °С:	50
Максимальное рабочее давление, МПа:	10
Диаметр, мм	48 (52)
Длина, мм	3220
Общая масса, кг	25 (30)



Разработанный программно-аппаратурный комплекс проведения КНД (КНД-48/53), реализующий двухзондовую методику измерений параметров уранового оруденения, позволяет за одну операцию спуска-подъема получить следующие данные:

1. При проходе снаряда к забою скважины осуществлять гамма-каротаж со скоростью до 600 м/ч по которому выделяется рудный интервал.

2. При обратном ходе проводить КНД каротаж со скоростью до 50 м/ч, по результатам которого определяются следующие параметры:

- диапазон измерений массовой доли природного урана: 0,005 - 0,5 %.
- диапазон измерений массовой доли радия (в эквиваленте урана): 0,005 - 1 %.
- диапазон проницаемости, пористости с погрешностью $\pm 1-2$ % абс, глинистости с погрешностью определения, не превышающей погрешности их определения геологическими методами, влажности, измерение жизни нейтронов в пласте (tau).

Использование КНД на стадии геологоразведочных работ позволит существенно сократить расходы за счет:

1. Увеличения доли безкернового бурения до 85-90 % от общего объема буровых работ.
2. Сокращения затрат на транспортировку кернового материала до лаборатории.
3. Сокращения лабораторно-аналитических работ.
4. Сокращения затрат на захоронение кернового материала.
5. Повышения достоверности подсчета запасов урана на гидрогенных месторождениях по промышленным категориям и, следовательно, сокращения доли геологического риска на стадии разработки ТЭО и проекта добывающего предприятия.

По нашим данным сокращение расходов на стадии геологоразведочных работ может достигать до 87 USD на 1 пог. м рудного интервала только за счет сокращения доли кернового бурения.

Экономическую эффективность применения КНД на стадии эксплуатации месторождения при бурении технологических (откачных и закачных) скважин рассчитывают исходя из сокращения расходов на добычу урана за счет:

1. Сокращения времени построения колонки скважины до 4-х суток, получения оперативных данных по бурению до 2-х часов с момента окончания каротажа.
2. Оперативного уточнения фактических интервалов посадки фильтров технологических скважин.
3. Уменьшения объема закисления продуктивных пластов и, следовательно, экономии реагента.
4. Более эффективной обработки рудного пространства.
5. Проведения мониторинга по полноте отработки рудных блоков месторождения при их выводе из отработки.

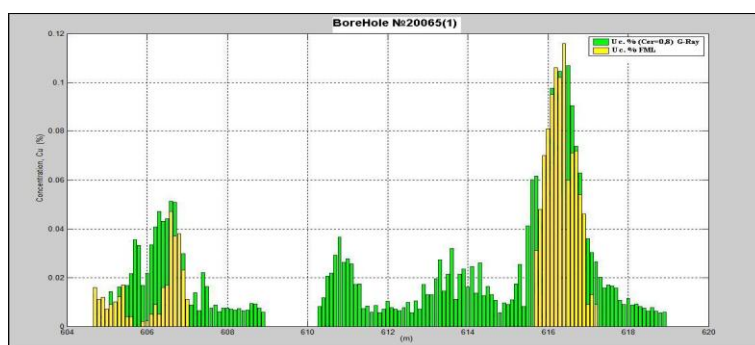


Диаграмма сравнения данных гамма-каротажа (выделен зеленым цветом) и КНД (выделен желтым цветом) по скважине наглядно показывает преимущество использования для подсчета запасов и контроля за отработкой месторождений урана метода КНД.

ВЫСОКОТОЧНЫЙ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ РУД НА РЕДКИЕ (СЕРЕБРО, ГЕРМАНИЙ, РЕНИЙ) ЭЛЕМЕНТЫ НА СПЕКТРОМЕТРАХ РЛП-21 И РЛП-21Т

Ефименко О. С.¹, Ефименко С. А.², Макаров Д. В.³

¹НТУ «Харьковский политехнический университет

²ТОО «Корпорация Казахмыс»

³Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН

Горные предприятия ТОО «Корпорация Казахмыс» разрабатывают и ведут геологическую разведку ряда медных месторождений Казахстана. В современных условиях максимальная экономическая эффективность от разработки месторождений цветных металлов может быть достигнута, в том числе, и за счет реализации мероприятий по комплексному использованию минерального сырья. В этом случае предприятиям во все возрастающем объеме требуется достоверная информация о валовых содержаниях в рудах основных, сопутствующих, а также экологически опасных элементов. Следовательно, требуется высокопроизводительный анализ руд, который, что очень важно, должен быть максимально дешевым.

Применительно к месторождению Жезказган, на котором основными промышленными компонентами в рудах являются медь, свинец и цинк, а сопутствующими – серебро, рений, кадмий и сера, аналитическая задача представляется максимально сложной, ибо одновременно требуется определять очень высокие (до 80 %) содержания серы, высокие (до 20 %) содержания меди, свинца и цинка, низкие (1-100 ppm) содержания серебра и кадмия и очень низкие (0,5-5 ppm) содержания рения. При этом не следует забывать о том, что сера относится к легким элементам, анализ которых имеет свою специфику. Таким образом, анализ жезказганских руд на основные и сопутствующие рудные компоненты представляет собой чрезвычайно сложную научную, методическую, математическую и аппаратную задачу.

В настоящее время фактически единственным аналитическим инструментом, который отвечает заявленным требованиям, является лабораторный энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр (EDXRF). Но в специальной литературе отсутствует информация о проведении прямого (без химического обогащения пробы и концентрирования элементов твердым органическим экстрагентом ТВЭКС) РФА на рений с использованием лабораторных EDXRF спектрометров.

В экспресс-лаборатории геофизической службы ПО «Жезказганцветмет», самого большого филиала ТОО «Корпорация Казахмыс», поставленная задача решалась на EDXRF спектрометре РЛП-21Т, производства ТОО «Физик» (г. Алма-Ата, Казахстан).

Спектрометр РЛП-21Т обеспечивает определение содержаний 31 элемента (Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Mo, Fe, Se, As, Ba, W, Bi, Ti, Cr, Mn, V, Ni, Al, Si, S, Ca, Ga, Br, Sr, Zr, Rb, Y, Nb, Pd, U, Th) в одном режиме без применения вакуумного насоса или инертного газа при анализе на легкие элементы. EDXRF спектрометр РЛП-21Т – это: дрейфовый полупроводниковый детектор (SDD) площадью около 25 мм² и толщиной 300-500 микрон (охлаждение – термохолодильник Пельтье); рентгеновская трубка VF-50J Rh (50 Вт) фирмы Varian Medical Systems (США); экспозиция измерений 150 сек; облучение кюветы с пробой – сверху; турель на 9 кювет. Детектор обеспечивает разрешение 150 эВ по линии 5,9 кэВ при загрузке 100 кГц. Мишень из теллура. Время формирования импульса 1,6 мкс. Сигнал полностью оцифровывается. Режим поддержания на постоянном и высоком (90000имп/с) уровне загрузки спектрометрического тракта.

В основу идеологии РЛП – 21Т положен принцип: месторождения разные, градуировка одна. Реализовать данный принцип позволил уникальный по сложности и возможностям пакет специализированных прикладных программ (ПСПП), включающий: реализацию учета матричного эффекта по методу спектральных коэффициентов, когда поправки вводятся только на все определяемые элементы и (по корреляции) на ряд неопределяемых элементов (например:

серу через железо на медно-колчеданных месторождениях); вовлечение в обработку спектров всех 19 линий L – серий, а также 5 линий K – серий, мешающих элементов (описание этих линий производится с точностью до 97-98%); полный учет на линий «двойных наложений», линий «пиков вылетов», линий пиков флуоресценций основных и дополнительных мишеней; высокоэффективный идентификатор аналитических линий элементов.

Один из спектрометров РЛП-21Т был дополнен опцией «РФА на рений». Данная опция позволяет определять 19 элементов: Re, Ge, Cu, Zn, Pb, K, Ca, Ti, Cr, V, Mn, Fe, Co, Ni, As, Se, Ba (оценка), S (оценка), W при экспозиции измерений 500с. Для оптимизации условий возбуждения линий ReL β 1 и GeKa и повышения чувствительности РФА на эти элементы в конструкцию РЛП-21Т введена дополнительная промежуточная мишень из рубидия.

Так как концентрации цинка, свинца и мышьяка в рудах месторождения Жезказган на 2–3 порядка превышают концентрации рения, то было принято решение выполнять РФА на рений по линии ReL β 1 (10,008 кэВ). На эту линию накладываются линии WL β 2 (9,961кэВ), HgL α 1 (9,989 кэВ), PbLs (9,667 кэВ) и GeKa (9,886 кэВ). В этом случае пришлось специально учитывать влияние линии GeKa (хотя линия GeKa непосредственно на линию ReL β 1 не накладывается, но она накладывается на линию ReL α 1 и тем самым нарушает табличное соотношение между линиями ReL α 1 и ReL β 1, используемое при расчетах. В процессе математической обработки вторичных спектров эти линии выделяются в «чистом» виде, что позволяет делать количественную оценку содержаний W, Pb, Hg и Ge.

В процессе исследований использовались государственные стандартные образцы (ГСО) руд месторождений Казахстана. Результаты исследований по направлениям:

1. «РФА на Ag». Точность РФА на 20 ГСО – III категория по ОСТ 41-08-205-04. Предел обнаружения (3 σ) на ГСО 8078 (аттестованное значение 1,6 ppm) – 0,74 ppm.

2. «РФА на Re» (20 циклов измерений по 500с). Средние содержания рения в ГСО составили (ppm): 2888 (песчаник медистый) – 1,84 (аттестованное значение 1,65), 2889 (полиметаллическая руда) – 5,02 (4,70), 2891 (концентрат медный) – 29,03 (28,2). Точность РФА на ГСО 2888, 2889 и 2891 – III категория, на ГСО 2887 (0,61 ppm) – V.

3. «РФА на Ge» (15 циклов измерений по 500с). Средние содержания германия в ГСО составили (ppm): 1712 (руда вольфрамовая) – 3,81 (3,9), 1713 (руда вольфрамовая) – 3,05 (2,9), 5405 (руда окисленная марганцевая) – 3,51 (3,4), 5405 (руда гематитовая) – 4,90 (5,1), 5406 (руда окисленная марганцевая) – 5,84 (4,9), 5407 (руда железо-марганцевая) – 22,2 (21,9), 5408 (руда окисленная марганцевая) – 5,44 (5,6), 6588 (руда полиметаллическая) – 4,52 (4,4), 4322 ДВГ (дальневосточные магматические породы) – 6,82 (7,0). Во всех ГСО точность РФА – III категория. Попутно было доказано, что РЛП-21Т обеспечивает РФА ГСО на селен по III категории, начиная с концентраций 4,2 ppm (ГСО 3032).

В программу исследований был включен вопрос о германиенности сфалеритов Жезказгана (известно, что сфалериты Рудного Алтая обогащены германием). С этой целью на спектрометре РЛП-21Т был выполнен РФА трёх проб руды с шахты «Анненская», содержания цинка в которых составили ряд: 2,25; 9,86 и 10,18%. Содержания германия в пробах составили ряд 1,5; 2,6 и 2,5 ppm. Следовательно, сфалериты Жезказгана германием не обогащены.

Выводы:

1. В результате совокупности научных, методических, математических и аппаратурных исследований разработана методика прямого определения содержаний серебра, рения, германия, полиметаллов и легких элементов, реализованная на самом современном казахстанском лабораторном EDXRF спектрометре РЛП-21Т.

2. Установлено, что чувствительность прямого РФА на рений ограничена и при $t = 500$ с составляет 1,12 ppm (критерий 3 σ). Для определения более низких концентраций РФА должна предварять методика предварительного концентрирования рения. Например: на активированном угле марки БАУ из раствора, полученного после химического разложения пробы.

3. Создана аналитическая база, позволяющая определять содержания в рудах месторождения Жезказган не только содержания всех основных (Cu, Pb, Zn), но и всех сопутствующих (Ag, Re, Cd, S) балансовых компонентов, а также ряда элементов, представляющих интерес для экологов.

РЕНТГЕНРАДИОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРОБОВАНИЕ РУД НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ТОО «КОРПОРАЦИЯ КАЗАХМЫС» С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРОМЕТРОВ РПП-12

Ефименко О. С.¹, Ефименко С. А.², Макаров Д. В.³

¹ НТУ «Харьковский политехнический университет

² ТОО «Корпорация Казахмыс»

³ Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН

Флагманом применения ядерно-геофизических технологий опробования руд (ЯГФТОР) в ТОО «Корпорация Казахмыс» является ПО «Жезказганцветмет». Это и понятно: шахты рудничной промышленной площадки ПО «Жезказганцветмет» обеспечивают основной объем добычи руд корпорации.

Жезказганское месторождение медистых песчаников характеризуется полиметаллическим характером оруденения (компоненты: основные – Cu, Pb, Zn; сопутствующие – Ag, Re, Cd, S); четырьмя технологическими сортами руд: медные сульфидные, комплексные (Cu – Pb, Cu – Pb – Zn), свинцовые (Pb, Pb-Zn, Zn) и смешанные (сульфидно-окисленные); отсутствием явно выраженных контуров горизонтально залегающих рудных тел; большим размахом содержаний всех промышленных компонентов.

Геологическое обслуживание горных работ на стадии доразведки и эксплуатации базируется на рентгенорадиометрическом методе: опробование руд по стенкам забоев, уступов, отбитой горной массы в навале (РРОР), экспресс-анализ керновых, забойных, шпуровых, вагонных проб ОТК и шламовых проб (РРА); каротаж разведочных и веерных отбойных скважин (РРК). Целью настоящей работы является РРОР на рудниках открытой и подземной разработки корпорации.

В ПО «Жезказганцветмет» задача РРОР решается с 1977 года. Вначале использовался спектрометр РПС4-01 «Гагара», затем – РРК-103 «Поиск», а с 1998 года – РПП-12.

Переносной полевой энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный (EDXRF) спектрометр РПП-12 предназначен для проведения высокоточного многоэлементного РРОР в естественном залегании (стенки горных выработок, уступы карьеров, естественные обнажения и т.д.), в отбитой горной массе и крупнодробленых пробах (руда в навале, штуфы, керн, пробы бурового шлама), а также для экспресс-анализа порошковых проб руд и горных пород в условиях полевых лабораторий на 4 элемента (с радионуклидом Pu-238 это Cu, Zn, Pb, Fe или Mn, Fe, Cu, Zn). РПП-12 состоит из датчика, устройства регистрации и обработки (УРО) и комплекта подъемных штанг. В датчике размещаются источники ионизирующего излучения (1÷2 радионуклида Pu-238), пропорциональный детектор излучений СИ-13Р, предварительный усилитель. УРО включает: микропроцессор DS5002FP, программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС) типа FPGA, анализатор импульсов на 1024 канала преобразований, буфер памяти на 1000 спектров, жидкокристаллический индикатор (ТЖК), клавиатуру. Питание РПП-12 обеспечивают аккумуляторы типа АА (в последней модификации РПП-12 емкости аккумуляторов хватает на 48 часов непрерывной работы). Время измерения на одной точке наблюдения 10÷60 сек. Штанги обеспечивают подъем датчика на высоту до 8 м. Аппаратура РПП-12 включена в Реестр измерительных средств Республики Казахстан. Сейчас только в ПО «Жезказганцветмет» ежедневно в шахты опускаются 18 бригад РРОР, обеспечивая ежегодный объем РРОР забоев на медь, цинк и свинец порядка 245000 м сечений. Всего же в филиалах корпорации в эксплуатации находятся порядка 40 РПП-12.

Нахождение интенсивностей линий рентгеновских флуоресценций определяемых элементов в спектрометре РПП-12 осуществляется с помощью минимизации функции среднеквадратического отклонения вида:

$$\chi^2(p) = \frac{1}{n-m} \sum_i \frac{1}{Y(i)} [Y(i) - F(i, p)]^2,$$

где p – вектор искомых параметров; n – число обрабатываемых каналов; m – число искомых параметров, i – текущий номер канала, $Y(i)$ – интенсивность в i -ом канале, $F(i, p)$ – искомым функционал.

При окончательном расчете содержаний элементов используется математическая модель, учитывающая: а) эффекты селективного поглощения и подвозбуждения линиями определяемых элементов, б) эффекты подвозбуждения рассеянным излучением, в) наличие в возбуждающем спектре двух интенсивных линий и многое другое.

Отличительные особенности РПП-12 по сравнению с EDXRF спектрометрами данного класса: это единственный переносной спектрометр, позволяющий опробовать забои и уступы высотой до 7-8 м по вертикальным сечениям без применения специальной техники (самоходные полки, лестницы и прочее); заметно большая площадь засветки опробуемого объекта по сравнению со спектрометрами «пистолетного» типа с PIN детекторами ($15 \div 30 \text{ см}^2$ против $2 \div 3 \text{ см}^2$) и, как следствие, более высокие показатели точности и представительности измерений; в) полное решение проблемы взаимного влияния элементов с соседними атомными номерами (Cu и Zn, например) и эффективный учет матричного эффекта по упрощенному варианту способа фундаментальных коэффициентов (на шлакоотвале Балхашского медьзавода РПП-12 уверенно определял $0,25 \div 1,0 \%$ Cu на фоне очень «тяжелой» матрицы: $\text{Pb} \leq 20,0 \%$, $\text{Zn} \leq 15,0 \%$, $\text{Fe} \leq 45 \%$), несмотря на использование пропорционального детектора излучений; г) возможность использования в качестве лабораторного спектрометра; д) гораздо больший срок службы пропорционального детектора (вместо 1800В на детектор подается только 1200В, что минимум в три раза повышает его срок службы); е) высокая «живучесть» спектрометра: перезагрузка программного обеспечения выполняется непосредственно на месте проведения РРОР и занимает всего нескольких минут; работоспособность датчика, упавшего с высоты 7-8 м на почву выработки, наладчики геофизической аппаратуры восстанавливают в течение максимум 48 часов; ж) наличие опции «блокировка работы прибора» в случае, если предварительная обязательная градуировка прошла не штатно.

На шахтах Жезказгана каждый забой или уступ в течение месяца опробуется от 3 до 7 раз по 1 – 2 вертикальным сечениям высотой до 7 м с шагом наблюдений $15 \div 20$ см. Такая технология РРОР открывает новые, не доступные при традиционной технологии геологического обслуживания горнодобывающих работ, возможности, а именно: а) объективно судить о динамике изменчивости средних содержаний меди, свинца и цинка по каждому забою; б) делать (на базе анализа динамических рядов текущих содержаний меди, свинца и цинка) надежный прогноз содержаний металлов по забоям на следующий месяц; в) своевременно корректировать направление очистных работ для обеспечения ведения последних в режиме минимального разубоживания руды породой путем: поднятия почвы забоя; оставления породного козырька в кровле забоя; остановки забоя добычей; г) оперативно управлять процессом добычи с помощью: гибкого перераспределения суточной нагрузки на забои с высоким и более низким качеством руды; выведения из добычи забоев с низким качеством руды и введения в добычу резервных забоев с более высоким качеством руды в случае неблагоприятной ситуации с выполнением планового задания по добыче металла; выведения из добычи забоев с высоким качеством руды и введения в добычу резервных забоев с более низким качеством руды в случае благоприятной ситуации с выполнением планового задания по добыче металла, чтобы не только гарантировать к концу месяца выполнения шахтой плана по добыче металла, но и как можно дольше поддерживать плановый уровень качества товарной руды за счет разумного сочетания нагрузки на богатые и бедные забои, что в конечном итоге должно положительно отразиться на полноте извлечения запасов из недр; д) оперативно управлять процессом откатки дизельным автотранспортом: руды из забоев и блоков к рудоспускам строго по технологическим сортам (полиметаллическая руда не должна попадать в медную, чтобы не ухудшать качество медного концентрата, а медная руда – в полиметаллическую, чтобы не перекачивать медь в низкосортные марки медного и коллективного концентратов); породы из забоев в отработанные панели.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФЛЮИДОНАСЫЩЕНИЯ ПРИСКВАЖИННОЙ ЗОНЫ НА ПОКАЗАНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ НЕЙТРОННЫХ МЕТОДОВ

Лысенков В. А.¹, Судничникова Е. В.¹, Дудаева С. С.²

¹ОАО НПП «ВНИИГИС»

²ООО «СевКавнефтегазгеофизика»

Принципиальная возможность диагностики флюидного состава (нефть, газ, вода) коллектора при отсутствии зоны проникновения или ее однородности в радиальном направлении на базе стационарных нейтронных методов общеизвестна [1]. В реальной ситуации зона проникновения имеет сложное строение, которое определяется геологическими, геохимическими, термобарическими и другими условиями в коллекторе.

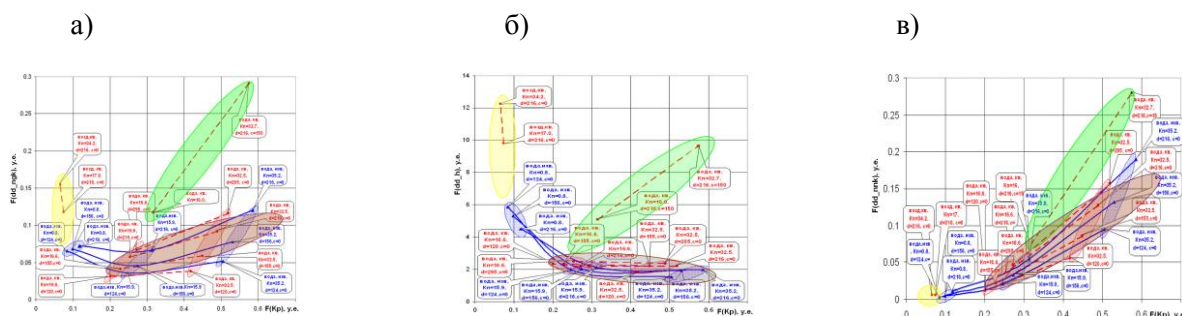
Радиус исследований стационарными нейтронными методами зависит от длины зонда и вида регистрируемого излучения и его энергии. В комплексе методов СНГК+2ННКт наименьшую глубинность исследований имеет малый зонд ННКт, радиус исследования которого составляет 10-15 см. Большую глубинность имеет большой зонд ННКт (15-20 см). Метод НГК характеризуется глубинностью 20-30 см. Глубинность жесткой части гамма-излучения радиационного захвата метода СНГК – 25-30 см. Использование комплексных аналитических параметров для определения пористости и характера насыщения путем привлечения информации от различных зондов и методов, а также использование информации об интенсивности гамма-излучения радиационного захвата в различных энергетических диапазонах приводит к получению разноглубинной информации от прискважинной зоны. Это позволяет определить анизотропию прискважинной зоны по содержанию флюидов в радиальном направлении.

На рисунке 1 приведены результаты экспериментальных работ, выполненных на моделях пластов необсаженных скважин различного диаметра, литологии и характера насыщения пластов, видна принципиальная возможность разделения пластов по характеру насыщения и фазовому составу флюидов в коллекторе при использовании аналитических параметров различных нейтронных методов. В качестве аналитических параметров используются функции, характеризующие дефицит плотности и водородосодержания ($F(dd_h)$, $F(dd_ngk)$, $F(dd_nnk)$), и функции пористости ($F(Kp)$). При наличии в коллекторах минерализованной воды эти параметры могут использоваться для определения водонасыщенной пористости коллектора. Модификация комплекса СНГК+2ННКт, предназначенная для определения нефтенасыщенности в двухфазной жидкой среде по хлору, получила название «хлорного каротажа». Технология определения состава двухфазной среды: нефть – газ, минерализованная вода – газ, основанная на различной чувствительности аналитических параметров к дефициту плотности и водородосодержания, получила название «каротажа по дефициту плотности и водородосодержания». В реальных геолого-технических условиях в продуктивных пластах нефтегазовых скважин эффекты по хлору и дефициту плотности и водородосодержания существуют совместно. Разделение этих эффектов в коллекторе является актуальной задачей при определении характера насыщения.

В качестве аналитических параметров нейтронных методов были использованы следующие соотношения, наиболее тесно связанные с дефицитом плотности и водородосодержания $F(dd_h) = \frac{J_h^2}{J_{мз} J_{бз}}$, где $F(dd_h)$ – функция дефицита плотности и водородосодержания по жесткой части ГИРЗ с энергией более 2,3 МэВ [2].

Наиболее приемлемой для оперативной интерпретации при определении характера насыщения может служить методика нормализации аналитических параметров по водоносным пластам. При нормализации показаний аналитических параметров $P(dd_ngk)$ и $P(dd_nnk)$ в водоносных пластах, $P(dd_ngk)$ и $F(Kp)$ нефтеносные и водоносные пласты со свободным газом будут выделяться приращением показаний $P(dd_ngk)$ над $P(dd_nnk)$, $P(dd_ngk)$ над $F(Kp)$. При

нормализации кривых $P(dd_nnk)$ и $F(Kp)$ в водоносных пластах при появлении свободного газа в нефтенасыщенных и водонасыщенных коллекторах они будут выделяться превышением показаний $F(Kp)$ над $P(dd_nnk)$. Большой глубиной исследований будут обладать параметры $P(dd_h) - F(Kp)$, меньшей – $P(dd_h) - P(dd_nnk)$. Совместное использование нескольких пар аналитических параметров, характеризующих состав и объем флюида в прискважинной зоне коллектора, позволяет выявить анизотропию фазового состава углеводородов (нефть, газ) в радиальном и вертикальном направлениях и повысить надежность интерпретации. При этом эквивалентная глубинность аналитических параметров различна, поэтому разным глубинам, в силу геологической, литологической и других неоднородностей нефтегазоносного коллектора, может соответствовать различный состав углеводородного флюида (газ, нефть).



Условные обозначения: —●— кварцит; —▲— известняк; —○— литология пласта кварцит; —○— литология пласта известняк. кв. изв – литология пласта кварцит, известняк; с – минерализация воды в пласте, г/л; Кп – коэффициент пористости пласта, %; вода, возд – насыщение пласта водой, воздухом; d – диаметр скважины, мм.

Рисунок 1 – Экспериментальные зависимости аналитических параметров $F(dd_h)$ (а), $F(dd_ngk)$ (б), $F(dd_nnk)$ (в) от $F(Kp)$, полученные для необсаженных скважин различного диаметра, заполненных пресной водой для различной литологии и насыщении пластов. Метрологический центр НУ РЦСМ ГП «Урал» (г. Уфа)

Выводы:

- При бурении на полимерных промывочных жидкостях, характеризующихся низкой фильтрацией в коллекторы, применение технологий интерпретации методов СНГК+2ННКт с нормализацией аналитических параметров, определяющих характер насыщения по водоносному коллектору, позволяет выделить нефтегазоносные коллекторы, определить их анизотропию фазового состояния углеводородного флюида в радиальном и вертикальном направлении в прискважинной зоне.

- Информативность методики определяется подвижностью углеводородных флюидов в коллекторе, газовым фактором нефти, соотношением давления насыщения нефти газом и пластовым давлением, особенностями геологического строения коллектора.

- Методика информативна для выделения трещиноватых и низкопроницаемых коллекторов при газовом факторе нефтей более $20 \text{ м}^3/\text{т}$ и вязкости менее $2 \text{ МПа}\cdot\text{с}$.

- Интервалы низкопористых и трещиноватых коллекторов с повышенным содержанием газа в прискважинной зоне рекомендуется вскрывать целевой перфорацией с намывом каверн или глубокой сверлящей перфорацией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кожевников Д. А. Нейтронные характеристики горных пород и их использование в нефтегазопромысловой геологии. – М.: Недра, 1974.
2. Гиматулинов Ш. К. Физика нефтяного и газового пласта. – М.: Недра, 1971.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОМЕТРИИ РК В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА НЕФТЯНОЙ ПЛАТФОРМЫ В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ О. САХАЛИН

Муллагалева Н. Р.
ОАО НПП «ВНИИГИС»

В настоящее время разведка и добыча нефти ведутся на морских акваториях и внутренних водоемах всех континентов и непрерывно растут. Наиболее интенсивно ведутся работы в Мексиканском и Персидском заливах, в Каспийском и Северном, Охотском и Балтийском морях.

Строительство морских нефтепромысловых сооружений требует проведения инженерно-геологических изысканий морского дна. Затраты на обустройство данных сооружений составляют свыше 50 % всех капиталовложений. Стоимость больших нефтегазопромысловых платформ может достигать нескольких миллиардов рублей. Полнота и достоверность данных определяют безопасность эксплуатации сооружения и экономичность проекта, в том числе, предотвращение экологических катастроф. Поэтому возникает необходимость совершенствования техники и технологии инженерно-геологических работ и применения прогрессивной методики доразведки.

Специалистами ОАО НПП «ВНИИГИС» совместно с ЗАО «Тихоокеанская инжиниринговая компания» (РЕСО) проведены исследования морских инженерно-геологических скважин под строительство платформы месторождения нефти и газа шельфа на острове Сахалин, относящихся к международному проекту «Сахалин-5» [1].

Исследования выполнялись цифровой скважинной аппаратурой малого диаметра АКПС-48, в состав которой входили модули аппаратуры. Комплекс методов включал в себя компенсированный нейтрон-нейтронный каротаж (ННК), интегральный и спектрометрический варианты гамма-каротажа (ГК, СГК), термометрию, резистивиметрию, спектрометрический вариант нейтронного гамма-каротажа в широкодиапазонной модификации (СНГК-Ш).

Основной объем работ выполнен по обсаженной части скважин. Спектры СГК и СНГК подвергались трансформации, заключающейся в нормировке спектров на фон многократно рассеянного гамма-излучения, что позволяет существенно повысить контрастность спектров СГК, устраняется влияние вариаций водородосодержания на результаты СНГК и значительно уменьшается влияние технических факторов (прежде всего, влияния обсадной колонны).

Дополнительно в процессе обработки материалов «Тихоокеанской инжиниринговой компанией» для ВНИИГИС были предоставлены результаты исследования керна в полевых и лабораторных условиях и значения скоростей продольных и поперечных сейсмических волн, полученных при проведении вертикального сейсмического профилирования (ВСП). Это позволило получить статистические зависимости значений петрофизических параметров (удельного и объемного веса, скелетной плотности, глинистости, содержания органики) от содержаний естественно-радиоактивных элементов (уран, торий, калий), определенных по СГК, водонасыщенной пористости по данным ННК, показателя карбонатности пород (отношение относительных содержаний кальция к кремнию) по данным СНГК-Ш. Предоставленные данные ВСП были использованы на качественном уровне для выделения газосодержащих интервалов.

Полученные данные позволили определить следующие параметры исследуемых грунтов (рисунок 1):

- температуру и удельное сопротивление скважинного флюида;
- естественную радиоактивность грунтов по данным ГК;
- содержание естественно радиоактивных элементов U, Th, K по данным СГК;
- содержание органики в отложениях по концентрации U(Ra) – (СГК);
- кальций-кремниевое отношение – показатель карбонатности отложений по данным СНГК-Ш;

- водонасыщенную (нейтронную) пористость по данным 2ННК-Т;
- коэффициент пористости по данным СНГК-Ш;
- объемную плотность отложений, удельный вес и плотность скелета горных пород по данным СНГК-Ш;
- глинистость отложений по концентрации Th (СГК) и объемную влажность по данным СНГК-Ш.

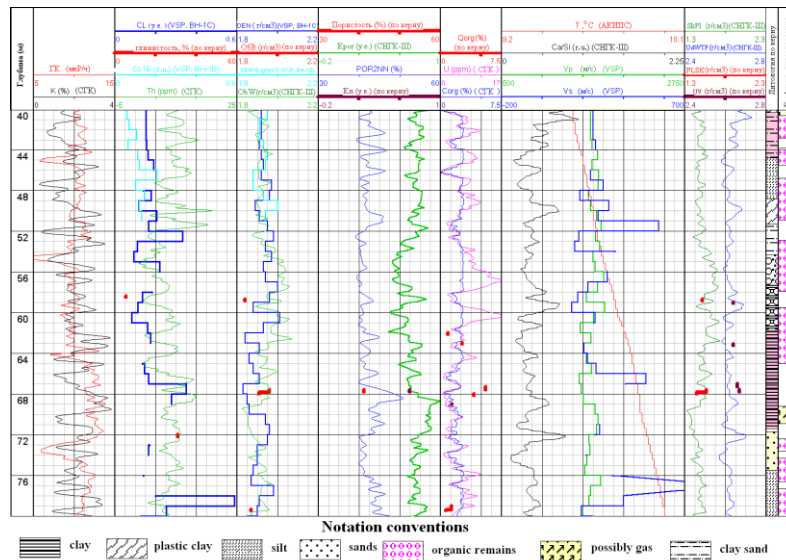


Рисунок 1 – Результаты каротажных исследований инженерно-геологической скважины в шельфовой зоне о. Сахалин

Настройка адаптивных алгоритмов перехода от аналитических параметров к количественным показателям выполнялась на основе данных лабораторных исследований керна [2, 3]. Сопоставление полученных данных с данными кернового опробования и обработки P-S LOG (ВСП) показало хорошую сходимость результатов определений, что указывает на эффективность применения каротажных исследований спектрометрией РК для инженерных изысканий. Для повышения достоверности данных ГИС рекомендуется дополнить комплекс методами ГГК-П, наклонотрией, рассчитать упруго-деформационные и прочностные свойства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисова Л. К. Пояснения к результатам исследований по скважинам 06ВН-1, 06ВН-1, 06ВН-1: Отчет ВНИИГИС. / Исп.: Л. К. Борисова, А. В. Гулимов, Н. Р. Муллагалеева, А. О. Габбасова, М. А. Мишанов [и др.]. – Октябрьский: ОАО НПП «ВНИИГИС», 2006. 30 с.
2. Элланский М. М. Петрофизические основы комплексной интерпретации данных геофизических исследований скважин: методическое пособие. – Тверь: Изд-во «ГЕРС», 2001. 229 с.
3. Вельденштейн Б. Ю. Методические рекомендации по определению подсчетных параметров залежей нефти и газа по материалам геофизических исследований скважин с применением результатов анализа керна, опробований и испытаний продуктивных пластов. Под редакцией Б. Ю. Вельденштейна, В. Ф. Козыра, Г. Г. Яценко. – Калинин: НПО «Союзпромгеофизика», 1990. 261 с.

ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ НЕЙТРОННЫЙ ГАММА-КАРОТАЖ. ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Борисов В. И., Борисова Л. К., Даниленко В. Н.
ОАО НПП «ВНИИГИС»

Широкодиапазонная модификация спектрометрического нейтронного гамма-каротажа (СНГК-Ш) была предсказана Е. Б. Бланковым, предложена и разработана в 1985 г. Е. С. Кучуриным, выпускником кафедры геофизических методов поисков и разведки месторождений редких и радиоактивных металлов, доктором технических наук [1].

Широкодиапазонный СНГК отличается от стандартного СНГК, разработанного для оценки элементного состава горных пород и определения содержания рудных элементов, дополнительной детальной регистрацией низкоэнергетической области спектра гамма-излучения радиационного захвата (ГИРЗ) и использованием борного фильтра-конвертора, позволяющего защищать детектор от активации источником излучения, обеспечивать аппаратную энергетическую стабилизацию регистрируемых спектров по пику от бора и одновременно определять плотность потока тепловых нейтронов. Это дает возможность повысить точность определения содержаний радиационно-активных элементов и оценить минералогическую плотность изучаемых отложений [2].

В 1985-1992 гг. применение разработанной аппаратуры СНГК-Ш позволило значительно повысить эффективность СНГК, давая возможность оценивать качество различных видов руд радиационно-активных элементов, в том числе руд черных металлов сложного минералогического состава. Использование комплекса каротажных методов на основе СНГК-Ш на месторождениях железа Кривого Рога и Башкирии, порошковых руд КМА, марганцевых руд Кузбасса позволило повысить точность определения содержания железа общего и марганца в 2-2,5 раза по сравнению с результатами стандартных методов каротажа. Методика определения содержания железа общего в рудах сложного минералогического состава в 1992 г. была успешно защищена в НМС отрасли.

В 1993 г. на рудной части биографии СНГК-Ш «перестройкой», планомерно ликвидировавшей рудную геофизику, была поставлена жирная точка. Однако, благодаря усилиям ЗАО НПФ «ГИТАС» под руководством В. Н. Даниленко, модификацию не только удалось сохранить, но и реализовать ее на более высоком, цифровом уровне. В связи с потерей традиционных объектов исследований аппаратуру адаптировали СНГК-Ш к задачам нефтегазовой геофизики.

Исходя из того, что основные свойства исследуемых сред определяются их элементным составом, метод оказался весьма полезен при изучении месторождений углеводородного сырья. С 1999 г. аппаратуру начали использовать при исследовании скважин на месторождениях севера Западной Сибири. Совместное использование аппаратуры с наземным методом поточной влагометрии позволило оптимизировать процесс добычи газа, прогнозировать и обосновывать очередность постановки скважин на капитальный ремонт.

Постепенно нарабатывался опыт, оптимизировался комплекс сопутствующих методов и расширялся круг решаемых геолого-геофизических задач.

В настоящее время СНГК-Ш применяется в комплексе с СГК для создания литологических моделей вскрытых скважинами отложений. Для этого была создана специальная двухзондовая аппаратура СНГК-Ш, укомплектованная дополнительным зондом СГК и внутренним термометром.

Для решения задач определения характера насыщения коллекторов, расчета Кнг, выявления ГНК и ВНК, оценки результатов интенсификации нефтедобычи оптимальный комплекс методов включает СНГК-Ш, СГК и аппаратуру СПРК, представляющую собой цифровую модификацию хлорного каротажа, разработанную А. И. Лысенковым в ОАО НПП «ВНИИГИС» [3].

С 2005 г. комплекс малогабаритной аппаратуры СНГК-Ш, СПРК и с SGK начал активно применяться для решения задач технического состояния газовых скважин и скважин ПХГ. Спектрометрические методы позволяют выполнять экспресс-оценку состояния цементного камня, выявление технологических каверн и скоплений газа за колонной и в межколонном пространстве. Измерения выполняются в условиях работающих газовых скважин, что значительно удешевляет исследования, т.к. не требует остановки скважины и извлечения НКТ. А в комплексе с магнитоимпульсной дефектоскопией дает возможность осуществлять мониторинг герметичности скважины, обеспечивая экологическую безопасность эксплуатируемых объектов. Эта работа в 2012 г. получила первую премию Газпрома.

К настоящему времени аппаратура СНГК-Ш опробована на нефтяных и газовых месторождениях России, Казахстана и Китая. В 2012 г. разработан гибридный пятizonдовый прибор (КСПРК-Ш), совмещающий возможности СНГК-Ш и СПРК. Готовится к выпуску малогабаритный комплексный модульный прибор МИД+ SGK +КСПРК-Ш.

Сокращение объемов разведки в стране и переход значительной части нефтегазовых месторождений в позднюю стадию эксплуатации требует повышения информативности геофизических исследований, что может быть обеспечено применением высокоэффективных методов, таких как спектрометрический нейтронный гамма-каротаж, аппаратурная реализация которого находится в постоянном развитии. В 2012 г. разработан гибридный пятizonдовый прибор (КСПРК-Ш), совмещающий возможности СНГК-Ш и СПРК. Готовится к выпуску малогабаритный комплексный модульный прибор МИД+ SGK +КСПРК-Ш. В настоящее время аппаратурно-методическая база метода позволяет возобновить его применение на более высоком уровне и на рудных месторождениях.

Широкая область применения спектрометрии НГК, а также высокая информативность метода обуславливают перспективность его использования на различных месторождениях полезных ископаемых для решения геолого-геофизических и технических задач.

Особенностью спектрометрии является ее сложность, требующая специальной подготовки кадров. Поэтому перспективы метода и развитие ядерной спектрометрии в целом во многом связаны с обучением специалистов. Свердловский горный институт, приемником которого является УГГУ, всегда славился своей спектрометрической школой. Кафедра геофизических методов поисков и разведки месторождений редких и радиоактивных металлов воспитала и выпустила многих специалистов в области ядерной спектрометрии, подтвердивших свою высокую квалификацию аппаратурными и методическими исследованиями, разработками, учеными степенями. Хочется надеяться, что в недалеком будущем мы увидим возрождение кафедры геофизических методов поисков и разведки месторождений редких и радиоактивных металлов в Уральской Горной школе, потому что без нее невозможно развитие ядерной геофизики и энергетики в России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Способ гамма-спектрометрии. А. С. СССР N 1371253 от 1.10.87. Кучурин Е. С., Мамлеев Т. С., Борисов В. И., Сагалович О. И., Миллер А. А. ДСП.
2. Борисова Л. К., Крысов А. А., Зараменских Н. М., Даниленко В. Н., Кулешова Г. С. Цифровая многоканальная аппаратура спектрометрического нейтронного гамма-каротажа // НТВ «Каротажник». 1996. Вып. 29. С. 80-85.
3. Лысенков А. И., Лысенков В. А., Осипов А. Д. Определение характера насыщения пластов и состава углеводородов по комплексу СНГК, 2ННКт (хлорный каротаж) в обсаженных нефтегазовых скважинах // АИС «Каротажник». 2010. № 5 (194). С. 115-149.

ЯДЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СКВАЖИНАХ

Сковородников И. Г.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

За последние годы в области ядерно-геофизических исследований скважин было так много достижений, что рассказать о них в одном докладе совершенно невозможно.

По этой причине мы остановимся только на разработках, выполненных выпускниками кафедры рудной (впоследствии рудной и промысловой, ядерной, прикладной и, наконец, просто кафедры геофизики), которые к тому же долгое время работали преподавателями этих кафедр. Все разработки находятся на уровне изобретений и защищены авторскими свидетельствами Советского Союза или патентами Российской Федерации.

1. Способ определения эффективной пористости пластов-коллекторов. Способ реализует известную методику «каротаж-воздействие-каротаж». Отличие способа заключается в том, что воздействие на породы геологического разреза скважины осуществляют с помощью жидкости, обладающей повышенным эффективным атомным номером – $Z_{эф}$, а каротаж до и после воздействия выполняют по методу селективного ГГК. Способ имеет ряд преимуществ перед аналогами, основанными на закачке в скважину жидкости повышенной плотности, повышенной намагниченности или обладающей повышенным сечением поглощения тепловых нейтронов.

Основное преимущество заключается в том, что при заполнении пор пласта жидкостью с высоким $Z_{эф}$, например, раствором уксуснокислого свинца $Pb(CH_3COO)_2$ который при 30 % концентрации имеет $Z_{эф}=45,6$ ед, резко повышается $Z_{эф}$ всего коллектора. Например, у песчаника, минеральный скелет которого имеет $Z_{эф}=12,5$ ед, при 20 % пористости $Z_{эф}$ возрастает почти вдвое, у известняка ($Z_{эф}\approx 15$ ед) при той же пористости 20 % - в 1,67 раза.

С учетом того, что результаты селективного гамма-гамма-каротажа зависят от $Z_{эф}^4$ исследуемой среды, чувствительность предложенного способа в несколько раз превышает чувствительность способов-аналогов.

Элементарные расчеты показывают, что эффективная пористость коллекторов может быть определена описанным способом, начиная с 2 % [2].

2. Способ прямого определения урана в скважинах [1, 9]. Способ основан на использовании жидкого сцинтиллятора, например, раствора терфенила в ксилоле или метилбората в толуоле. Жидкий сцинтиллятор заполняет эластичную цилиндрическую оболочку из резины или каучука, которая размещена между двумя цилиндрическими частями корпуса скважинного прибора, выполненными с возможностью взаимного перемещения. В верхней части установлены фотоэлектронный умножитель и электронная схема, в нижней – электромотор и приводной механизм. При подаче питания на электромотор он начинает вращаться, а приводной механизм приближает нижнюю часть прибора к верхней, расширяя эластичную оболочку с жидким сцинтиллятором.

Измерения в скважине выполняются дважды. Первый раз при цилиндрической форме оболочки сцинтиллятора. При этом измерении на сцинтиллятор попадает только γ -излучение горных пород (почти все β -излучение поглощается буровым раствором скважин). Второе измерение выполняют после того как эластичная оболочка посредством осевого сжатия будет расширена и войдет в соприкосновение со стенкой скважины. При этом, на детектор попадет и γ - и β -излучение.

По результатам двух измерений для каждой точки скважины могут быть рассчитаны и содержание урана, и значение коэффициента радиоактивного равновесия между ураном и радием.

Преимуществом описанного способа перед известным способом прямого определения урана по мгновенным нейтронам деления (КНД-М) является его меньшая стоимость, так как способ не требует применения скважинного генератора нейтронов.

3. Разработана также серия приборов для гидрогеологических исследований в скважинах. Это скважинный расходомер [6], устройство для определения направления движения подземных вод, вскрытых буровой скважиной [5,7,8], устройство для измерения осевой и радиальной составляющей потока в скважине [4].

Все эти устройства могут быть выполнены в виде приставок к скважинному прибору серийного каротажного радиометра [3].

Скважинный расходомер оснащен осевой крыльчаткой, на одной из лопастей которой закреплена навеска радиоактивного изотопа, излучение которого периодически попадает на детектор радиометра через прорезы в экране.

Устройство для определения направления потока снабжено флюгером, скрепленным с цилиндрической герметичной камерой, в которой расположена свободная магнитная стрелка с навеской радиоактивного изотопа на северном конце. Излучение изотопа попадает на детектор радиометра через кольцевую прорезь монотонно увеличивающейся ширины в свинцовом экране, скрепленном с флюгером.

Устройство для измерения осевой и радиальной составляющих потока содержит две крыльчатки: одну осевую, другую – тангенциальную; на каждой из них закреплены навески радиоактивных изотопов, различающихся по энергии излучения. Для работы с этим устройством необходим гамма-спектрометр.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Давыдов А. В., Сквородников И. Г. Прямое определение урана в рудах по измерениям в буровых скважинах // Атомная энергия. 1994. Т. 77. Вып. 2. С. 159-162.
2. Сквородников И. Г., Бреднев И. И. Применение селективного γ - γ -каротажа для выявления коллекторов в разрезах буровых скважин // Атомная энергия. 1992. Т. 72. Вып. 3. С. 293-245.
3. Сквородников И. Г., Калашников В. Н., Макаров Л. В. Новые возможности каротажных радиометров в гидрогеологических исследованиях // Геофизическая аппаратура. 1978. Вып. 65. С. 126-130.
4. Сквородников И. Г., Козырин А. К. Устройство для изучения движения жидкости в буровых скважинах // Атомная энергия. 1978. Т. 45. Вып. 1. С. 81-82.
5. Сквородников И. Г. Устройство для определения направления потока подземных вод, вскрытых буровой скважиной // Атомная энергия. 1983. Т. 54. Вып. 1. С. 54-56.
6. А. с. № 514946. Скважинный расходомер / И. Г. Сквородников, В. Н. Калашников, Л. В. Макаров. – Оpubл. 21.09.76. Бюл. № 19.
7. А. с. № 710283. Устройство для определения направления движения подземных вод / И. Г. Сквородников. – Оpubл. 23.06.83. Бюл. № 23.
8. А. с. № 1001725. Устройство для определения направления движения подземных вод / И. Г. Сквородников, И. И. Бреднев. – Оpubл. 23.03.86. Бюл. № 11.
9. А. с. № 1805431. Способ радиоактивного каротажа и устройство для его осуществления / А. В. Давыдов, И. Г. Сквородников. – Оpubл. 30.03.93. Бюл. № 12.

БАЗОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ СОВРЕМЕННОЙ СКВАЖИННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

Шампаров А. Г.

Институт местных видов топлива – «Уралгипроторф»

Основными компонентами скважинной гамма-спектрометрии являются детектирование гамма-излучения удаленным зондом, измерение энергии и плотности потока зарегистрированных гамма-квантов, передача сигнала от зонда к регистратору и его последующая интерпретация (построение геолого-физической модели, соответствующей наблюдаемому пространственно-энергетическому распределению зарегистрированного потока частиц).

Для всех компонентов комплекса важнейшую роль играет достигнутый уровень развития вычислительной мощности компьютерной техники, а также общий уровень развития элементной радиотехнической базы. В соответствии с законом Мура (Gordon Moore, 1965), в течение последних сорока лет производительность вычислительных систем, соответственно и емкость твердотельной памяти каждые 20 лет увеличиваются на 3 порядка. Это открывает впечатляющие горизонты в развитии систем регистрации и интерпретации данных ядерно-геофизических измерений. Так за последние десять лет кардинально выросла функциональность ядерно-геофизических зондов (Черменский, 2007), которые, по существу, являются автономными регистрирующими системами, удаленно управляемыми с помощью телеметрии по оптоволоконному кабелю.

Однако при таком динамичном развитии измерительной техники способы интерпретации данных скважинной гамма-спектрометрии, зачастую, базируются на идеях 30-50 летней давности. Ниже формулируются общие вопросы, которые необходимо принимать во внимание при разработке аппаратуры и методов интерпретации спектрометрического каротажа.

1. Мертвое время и точность амплитудно-цифрового преобразования спектрометра. Для измерения энергии гамма-кванта в сцинтилляционной спектрометрии оптимальным является амплитудно-временное преобразование, дающее самый «гладкий» аппаратный спектр. Оно же обладает самым длительным «мертвым временем». В качестве решения автором испытано аналоговое запоминающее устройство на 4 импульса, считывание информации из которого производится генератором заданной тактовой частоты (50-100 кГц) так, что максимальная скважность импульсов на выходе разравнивателя обеспечивает время, необходимое для измерения импульса максимальной амплитуды. Стабильность «нулевой линии» спектрометрического тракта обеспечивается полным разрядом интегрирующей емкости после завершения преобразования.

2. Стабилизация энергетической шкалы спектрометрического тракта. Недостатком стабилизации энергетической шкалы по реперному источнику является искажение спектра регистрируемого излучения, что ограничивает информационные возможности последующей интерпретации результатов измерений. Предложенный автором (А.С. СССР 1327687, 1987) способ стабилизации основан на постоянстве формы спектра естественного гамма-излучения в скважине в области энергий 250-800 КэВ. Алгоритм стабилизации был реализован в устройстве, помещенном в зонд. На современном уровне развития компонентной базы нет необходимости осуществлять жесткую стабилизацию шкалы спектрометра в процессе измерений. Достаточно удерживать амплитуды регистрируемых импульсов в аналоговом динамическом диапазоне измерительно-преобразовательного тракта. Задача распознавания спектра, его энергетической привязки может быть решена алгоритмически после завершения измерений в скважине.

3. Одновременное измерение поглощающих свойств и элементного состава среды. До 90 % гамма-квантов регистрируемого в скважине аппаратного спектра приходится на пик рассеянного излучения в энергетическом диапазоне 0-250 кЭв., сформированного под влиянием конкурирующих процессов комптоновского рассеяния и фотопоглощения гамма-

квантов в горной породе и околоскважинном пространстве. При всей сложности интерпретации этого массива доказана связь его средней энергии с эффективным атомным номером горных пород (А.С. СССР № 157023). При использовании в качестве «подсветки» искусственного мониторируемого потока излучения становится возможным измерение плотности среды. Учитывая введение ограничений на использование ампульных источников ионизирующих излучений в скважинной геофизике, единственным доступным искусственным источником проникающего ионизирующего излучения в скором времени может остаться генератор нейтронов. В этом случае также имеется принципиальная возможность определения плотности и эффективного атомного номера среды. Кроме того, пик рассеянного излучения может быть алгоритмически использован для первичной энергетической привязки аппаратного спектра и фиксации динамического диапазона спектрометрического тракта. Реализация этого способа измерений может быть достигнута в варианте двух-трех диапазонной регистрации спектрометрического сигнала для обеспечения приемлемой точности амплитудного преобразования гамма-квантов высоких средних и низких энергий.

4. Количественная интерпретация скважинных спектрометрических измерений. Решение обратной задачи спектрометрического каротажа производится методами, в основе которых лежит то или иное аналитическое приближение механизма переноса гамма-квантов в природных средах. Любые попытки уточнить аналитический аппарат (особенно в случае широкодиапазонных измерений энергий) чрезвычайно усложняют аналитический вид общих решений. Вместе с тем в настоящее время актуален переход от попыток аналитического решения обратной задачи в общем виде к модельно-алгоритмическому. Алгоритм решения обратной задачи в таком варианте сводится к подбору параметров модельной излучающей неоднородной среды, формирующей пространственно-энергетическое распределение гамма-квантов, соответствующее фактически измеренному. Предпосылками применения данного метода являются отличная изученность процессов переноса излучения в средах, алгоритм Монте-Карло, позволяющий рассчитать пространственно-энергетическое распределение гамма-квантов для заданной модели, и постоянно возрастающая мощность вычислительных систем.

АНАЛИЗ ТЕОРИИ КИНЕТИКИ И ЭНЕРГОЕМКОСТИ СВЕРХТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОЦЕССАМ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Усов Г. А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Анализ наиболее известных законов измельчения твердых материалов (энергетические законы: Кирпичева-Кикка, П. А. Ребиндера, Хоултейна, Ф. С. Бонда, А. К. Рундквиста, Риттингера, Р. Стедлера, Л. Б. Левенсона, П. М. Сиденко, Р. И. Чарльза и Г. С. Ходакова) показал, что наиболее полно (из всех рассмотренных) отражает затраты как на само сверхтонкое измельчение, так и на физико-химические процессы ему сопутствующие с учетом объемного и поверхностного разрушения энергетический закон, предложенный Г. С. Ходаковым* [1]:

$$d\varepsilon = \frac{9bedS}{a_2S} + \left(\frac{3b\beta l_1 + \gamma}{a_2} + \sigma \right) dS - \frac{b\beta l_1^2}{4a_2} S dS, \quad (1)$$

где e – плотность энергии, необходимой для хрупкого разрушения; β – плотность энергии пластических деформаций до момента разрушения; γ – поверхностная плотность работы сил трения; σ' – свободная энергия единицы поверхности; l_1 – толщина слоя пластических деформаций; a_2 – коэффициент площади частиц; b – коэффициент объема частиц; S – удельная поверхность.

В отмеченных работах по установлению соотношения между энергозатратами на процесс измельчения и приростом удельной свободной поверхности не принималось во внимание, что имеют место и другие затраты энергии на разрушение твердого тела: потери на работу по преодолению сил трения, образования и разрушения агрегатов, создание разности потенциалов, разрыва химических связей вещества, образования новой свободной поверхности, выделения скрытой теплоты образования новой поверхности, энергия на упругое и пластическое деформирование, абразивный износ рабочих органов и футеровки измельчительной машины, которыми также пренебрегали. На основании этого с учетом выражения (1) авторами проекта предлагается зависимость, более полно определяющая энергозатраты при объемном и поверхностном характере разрушения:

$$d\varepsilon_{y\partial} = \frac{9be}{a_2} \times \frac{dS}{S} + \left(\frac{3b\beta l_1 + j_T}{a_2} + (\sigma_T + q_T) \right) dS - \frac{b\beta l_1^2}{4a_2} S dS, \quad (2)$$

где j_T – энергия, расходуемая на преодоление сил трения; σ_T – энергия на образование единицы новой поверхности; q_T – скрытая теплота образования 1 см² новой поверхности.

Интегрирование дифференциального уравнения измельчения (2) в пределах от S_0 до S и от $\varepsilon_{y\partial} = 0$ до $\varepsilon_{y\partial}$ дает возможность определять зависимость между затратами энергии и результатом измельчения в широком диапазоне дисперсности с учетом основных факторов, оказывающих влияние на процесс измельчения:

$$\varepsilon_{y\partial} = \frac{9be}{a_2} \ln \frac{S}{S_0} + \frac{3b\beta l_1}{a_2} (S - S_0) + \frac{j_T}{a_2} (S - S_0) + (\sigma_T + q_T) (S - S_0) - \frac{b\beta l_1^2}{4a_2} (S^2 - S_0^2), \quad (3)$$

* Ходаков Г. С. Физика измельчения. – М.: Наука, 1972. 307 с.

где S_0 – удельная поверхность исходного материала; $e = P^2/2E$; P – предел прочности измельчаемого материала на сжатие; E – модуль Юнга; $\beta = \frac{(K_{пл} - 1)P^2}{2E}$; $K_{пл}$ – коэффициент пластичности измельчаемого материала; $K_{пл} = 2E/E_{деф} - 1$; $E_{деф}$ – модуль полной деформации; $l_1 = \frac{2l}{a_1}$; a_1 – коэффициент линейного размера частиц измельчаемого материала; $\sigma_T + q_T = \left(\sigma_{T/B} + q_{T/B}\right) + \left(\sigma_{ж/B} + q_{ж/B}\right) - \left(\sigma_{T/ж} + q_{см}\right)$; $\sigma_{T/B}$ – удельная поверхностная энергия твердого тела при контакте с воздухом; $\sigma_{ж/B}$ – поверхностное натяжение жидкости при контакте с воздухом; $\sigma_{T/ж}$ – адгезия при контакте твердого тела с жидкостью; $q_{T/B}$ – скрытая теплота образования единицы новой поверхности при разрушении твердого тела в воздухе; $q_{ж/B}$ – то же, жидкости в воздухе.

Принимая во внимание вышеизложенное обоснование всех составляющих уравнения (3), удельные затраты энергии $\varepsilon_{уд}$ при тонком и сверхтонком измельчении твердых материалов более полно можно описать следующей зависимостью:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{уд} = & \frac{9bP^2}{2a_2E} \cdot \ln \frac{S}{S_0} + \frac{3b(K_{no} - 1)P^2 l_1}{2a_2E} (S - S_0) + \\ & + \frac{j_T}{a_2} (S - S_0) + \left[(\sigma_{T/B} + q_{T/B}) + (\sigma_{\delta/e} + q_{\delta/e}) - (\sigma_{T/\delta} + q_{-}) \right] \cdot \\ & \cdot (S - S_0) - \frac{b(K_{no} - 1)P^2 l_1^2}{16a_2E} (S^2 - S_0^2). \end{aligned} \quad (4)$$

Анализ уравнения (4) показал, что плотность энергии, которую измельчитель (мельющее тело) передает в зоне контакта измельчаемому телу (измельчаемой частице) в единичном акте разрушения, зависит от конструктивных особенностей, геометрических размеров рабочих органов и технологических параметров измельчительной машины. Достижение необходимого уровня плотности энергии, которая передается измельчаемой частице в единичном акте разрушения, обеспечивается путем повышения энергонапряженности измельчительного аппарата, прежде всего, за счет увеличения кинетической энергии мелющих элементов (ударных элементов, мелющих тел и др.) при их контактировании с измельчаемым материалом. К увеличению плотности энергии, например, приводит также уменьшение площади контакта и, следовательно, количества воспринимаемой энергии измельчаемых частиц. Проведенные аналитические исследования позволяют обеспечить более достоверное, теоретически обоснованное выполнение технико-технологических разработок по увеличению энергонасыщенности дисперсных систем и повышению производительности их получения.

В заключении вышесказанному хотелось бы отметить, что несмотря на весьма широкие перспективы применения механоактивации полимеров в самых различных отраслях промышленности, измельчительных машин, эффективно реализующих механохимическую деструкцию полимеров в промышленных (не в лабораторных!) объемах, в настоящее время, практически, нет. С одной стороны, эта ситуация связана с высокой конструктивной сложностью необходимого измельчительного оборудования и особой эксклюзивностью самого технологического процесса при переработке исходного полимерного сырья с широким диапазоном его физикохимических свойств (целлюлозы, эфиры целлюлозы, декстрин, крахмал, пектин, кремний органические полимеры и др.). С другой, – это высокая степень новизны технологических решений, связанных как с теоретическим обоснованием процессов механоактивации полимеров, так и с их промышленным применением. Т. е. в настоящее время это новые, развивающиеся технологии, в большинстве случаев не достигшие промышленного рубежа их применения.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЦЕМЕНТИРОВАНИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Усов Г. А., Фролов С. Г., Кралина Л. И., Якунин К. С., Коновалов К. О.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Основными материалами для цементирования скважин являются тампонажные цементы. Тампонажным цементом, как известно, называется смесь, состоящая из порошкообразных материалов (портландцемента, шлака, извести, пластических масс) и минеральных веществ (песка, асбеста, глины и т. д.), которая после перемешивания в водной среде образует однородный раствор, твердеющий до образования камня с определенными физико-механическими свойствами. Цементы – основной материал для получения тампонажных смесей. В зависимости от вяжущей основы тампонажные цементы делятся на несколько видов [1]:

- а) тампонажный цемент на базе портландцемента;
- б) тампонажный цемент на базе доменных шлаков;
- в) белито-кремнеземистый цемент;
- г) известково-песчаные смеси;
- д) прочие виды тампонажного цемента (гипсовые, на основе природных минералов и горных пород);
- е) органические крепители.

В зависимости от температуры испытания и применения различают три класса цементов:

- а) цемент для «холодных» скважин (ХЦ) с температурой испытания 22 ± 2 °С;
- б) цемент для «горячих» скважин (ГЦ) с температурой испытания 75 ± 3 °С;
- в) цементы для глубоких высокотемпературных скважин (ВЦ), которые, в свою очередь, подразделяются на несколько групп (для температур 100, 120, 170 и 200 °С).

Все тампонажные растворы делятся на твердеющие (схватывающиеся) и нетвердеющие (упрочняющиеся). Твердеющие растворы (их большинство) в результате сложных физико-химических процессов превращаются в тампонажный камень. Упрочняющие растворы не изменяют своего фазового состояния, они стабилизируются с увеличением структурно-механических свойств. Требования технического характера определяют технологические возможности тампонажных растворов применительно к тем или иным геолого-техническим условиям.

Тампонажные растворы должны:

- обладать хорошей текучестью и сохранять это свойство в течение времени, необходимого для закачки; сразу после завершения закачки раствор должен загустевать и набирать прочность;
- проникать в любые поры и микротрещины, но в то же время не растекаться в трещинах под действием собственного веса;
- быть устойчивыми и не седиментировать.

Повышение трещиностойкости цементного камня может быть осуществлено на основе принципов физико-химической механики дисперсных систем следующим образом:

- а) механическим армированием - введением макроармирующих добавок волокнистого или зернистого типов;
- б) самоармированием – направленным синтезом в цементной матрице микроармирующих игольчатых и волокнистых новообразований;
- в) полимеризацией цементной матрицы – созданием органической или эрганоминеральной армирующей композиции;
- г) механоактивацией твердой фазы;
- д) сочетанием перечисленных выше принципов [2].

К реагентам, повышающим прочностные характеристики цементного камня полимеризацией цементной матрицы, можно отнести смолу типа УП-679-3 или ТЭГ-1, применяющуюся совместно с отвердителем типа УП-583Д. В цементный раствор вышеуказанную смолу вводят при помощи специальной вспомогательной емкости, однако не всегда удается достаточно равномерно размешать смолу в тампонажном растворе, а в зимнее время необходим подогрев емкости со смолой. Высокая токсичность смол, дороговизна, дефицит – все это значительно затрудняет применение данного реагента. К этому же типу добавок относится латекс БСК-70/2, но его применение затруднено в зимнее время в связи с его плохой морозостойкостью. Срок хранения очень мал, всего три месяца, после чего реагент коагулирует, становится не прокачиваемым.

ПВС (поливиниловый спирт) относится к реагентам, которые повышают прочностные характеристики цементного камня на основе самоармирования. Однако этот реагент является труднорастворимым, соответственно нуждающимся в применении пеногасителя, так как процесс растворения проходит с обильным пенообразованием.

Приведенный выше анализ основных материалов и рецептур дисперсных систем, используемых для приготовления тампонажных смесей, показывает, что существенно повысить качество цементирования можно тремя путями:

- строго соблюдать условия хранения тампонажных цемента и других компонентов тампонажных смесей. Однако на практике тампонажные цементы, как правило, теряют свои вяжущие свойства на 20-30 % и более. Борьба с «лежалостью», вызванная, как известно, нежелательной гидратацией цемента при взаимодействии с окружающей средой, является крайне актуальной проблемой для повышения качества цементирования нефтегазовых скважин;

- разработка новых рецептур тампонажных смесей, например, с применением различных органических добавок и т. п.;

- повышение физико-химической активности всех без исключения компонентов тампонажных смесей (цементов и добавок тампонажных смесей, а также их дисперсной среды, например воды). Для жидких сред, по некоторым публикациям, весьма эффективными могут оказаться электрическая и магнитная активации. Наиболее кардинальным техническим решением повышения качества тампонажных смесей являются мокрая и сухая активации тампонажной смеси или ее компонентов по отдельности, которые, кстати сказать, кардинально решают также и проблему повышения качества «лежалых» цементов.

Как показали приведенные нами экспериментальные лабораторные исследования, активация цемента повышает прочность получаемого из него цементного камня, а также обеспечивает более высокую адгезионную связь с обсадными трубами и горными породами. Тампонажные цементные растворы, получаемые на основе активированного цемента, обладают, по сравнению с обычными, повышенной дисперсностью, большей стабильностью, высокой пластичностью и хорошей проникающей способностью в тонкие трещины и породы. Эти растворы, обладая высокой проникающей способностью, позволяют увеличить расстояние между тампонажными скважинами, то есть уменьшить их число. Активация цемента позволяет получить коллоидные растворы для более широкой области применения цементации, включая среднезернистые пески. Сформировавшиеся из этих цементных растворов тампонажный камень более плотный и однородный, лучше противостоит коррозионному воздействию агрессивных подземных вод и обеспечивает более продолжительный срок службы. Выше отмечалось, что одним из методов повышения трещиностойкости цементного изоляционного слоя является механоактивация исходных компонентов для приготовления смеси, а также самого раствора непосредственно при затворении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булатов А. И. Тампонажные материалы и технология цементирования скважин. – М.: Недра, 1997. 325 с.
2. Калинин А. Г., Левицкий А. З., Никитин Б. А. Технология бурения разведочных скважин на нефть и газ. – М.: Недра, 1998.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР ОЧИСТНЫХ АГЕНТОВ НА ОСНОВЕ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ ТОРФА

Усов Г. А., Фролов С. Г., Кралина Л. И., Коновалов К. О., Якунин К. С.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Осуществление эффективной промывки при бурении скважин включает в себя ряд технологических операций: приготовление, очистка, регулирование свойств и циркуляции буровых промывочных жидкостей в скважине. Эффективное выполнение данных операций зависит от качества буровой промывочной жидкости, которое, в свою очередь, определяется ее составом и оптимальными значениями структурно-механических и реологических параметров данной жидкости [1]. В связи с этим при разработке рецептур и методов регулирования параметров промывочных жидкостей на основе порошков торфа авторами решались следующие задачи:

- получение механоактивированных порошков путем их сверхтонкого измельчения на экспериментальном стенде каскадной центробежной мельницы;
- исследование структурно-механических и реологических параметров буровых промывочных жидкостей на основе механоактивированных порошков торфа;
- модификация буровых промывочных жидкостей при обработке их реагентом «ТОРФ-МП»;
- исследование и оценка устойчивости к минеральной агрессии параметров промывочных жидкостей (приготовленных на основе механоактивированных порошков торфа) в процессе бурения;
- исследование эффективности модификации технологических свойств буровых промывочных жидкостей, базовым материалом которых является органо-порошок «ТОРФ-МП», с использованием традиционных, применяемых в бурении химреагентов;
- аналитические исследования гидродинамики течения в циркуляционной системе буровой скважины промывочной жидкости, содержащей «ТОРФ-МП».

Механоактивированные порошки торфа для проведения вышеуказанных исследований готовились путем сверхтонкого диспергирования торфа, на стенде каскадной центробежной мельницы МКЦ-4. При этом одна проба торфа диспергировалась один раз, а вторая проба подвергалась двойному измельчению. В результате был получен торф одного и двух помолов. Задача эксперимента - определение режимов наиболее эффективного измельчения торфа. Исследования показали достаточность одного цикла измельчения. Буровой раствор был получен путем щелочного гидролиза механоактивированного торфа. Целью начальных исследований был поиск наиболее эффективного соотношения: диспергированный торф - гидроксид натрия - вода. Наиболее оптимальными параметрами данной промывочной жидкости являются: плотность $\rho=1,028\div 1,03$ г/см³; условная вязкость $T=20\div 25$ с; водоотдача $B=21\div 25$ см³/30 мин; толщина корки $K\leq 4$ мм; статическое напряжение сдвига $Q_1=0\div 0,009$ Па и $Q_{10}=0\div 0,0045$ Па. Эти параметры ориентировочно достигаются при соотношении: 100 г диспергированного торфа – 7,5÷10 г гидроксид натрия – 1,5 л воды.

При этом наиболее выгодные параметры получаются при щелочном гидролизе торфа одного помола в соотношении: 100 г торфа – 10 г гидроксид натрия – 1,5 л воды.

Следует отметить, что малые значения статического напряжения сдвига Q_1 и Q_{10} (и соответственно динамического напряжения сдвига) при наличии оптимальных значений других параметров позволяют существенно снизить энергозатраты на работу забойных двигателей турбобуров и значительно уменьшить кольматацию продуктивных горизонтов и как следствие увеличить нефтеотдачу данных горизонтов и сократить сроки их освоения при бурении эксплуатационных скважин.

Исследование устойчивости к минеральной агрессии промывочной жидкости на основе «ТОРФ-МП» проводилось путем сравнения параметров данной промывочной жидкости

с параметрами глинистых растворов с достаточно высокой плотностью (ρ), равной 1,11 и 1,16 г/см³ в процессе их химической обработки хлористым натрием NaCl. Лабораторные исследования показали, что даже при такой большой разнице содержание твердой фазы сравниваемых промывочных жидкостей: $\rho = 1,02 \div 1,03$ г/см³ у раствора «ТОРФ-МП», и $\rho = 1,1 \div 1,6$ г/см³ у глинистых растворов, первая промывочная жидкость более устойчиво сохраняет свои структурно-механические и реологические параметры при добавке NaCl 1÷2 %. Установлено, что при повышении содержания твердой фазы (т. е. плотности) устойчивость к минеральной агрессии промывочной жидкости на основе «ТОРФ-МП» повышается. Следует отметить также, что при увеличении степени минерализации дисперсионной среды исследуемой промывочной жидкости в виде водного раствора «ТОРФ-МП» ее вязкость изменяется незначительно, что очень важно в ряде случаев, например, для работы турбобуров в нефтегазовом бурении [2].

Лабораторными исследованиями установлено:

– водный раствор на основе «ТОРФ-МП» позволяет регулировать структурно-механические и реологические параметры в весьма высоких пределах: условная вязкость $T = 17 \div 18$ с; водоотдача $B = 4 \div 20$ см³/30 мин; статическое напряжение $Q_1 \gg 0,1 \div 0,5$ Па и $Q_{10} \gg 0,15 \div 0,6$ Па; плотность данных промывочных жидкостей при этом имеет крайне малые значения в пределах $\rho = 1,01 \div 1,03$ г/см³;

– физико-химическая обработка реагентами промывочной жидкости на основе «ТОРФ-МП» позволяют получить облегченную промывочную жидкость плотностью до $\rho = 0,01$ г/см³ с уникальными параметрами для такой малой величины плотности известных буровых промывочных растворов: условная вязкость $T = 18 \div 20$ с; водоотдача $B = 10 \div 12$ см³/30 мин.; статическое напряжение $Q_1 \gg 0,1 \div 0,25$ Па и $Q_{10} \gg 0,04 \div 0,06$ Па;

– промывочная жидкость на основе «ТОРФ-МП», после обработки ее высокоэффективными химреагентами имеет весьма невысокие значения статического напряжения сдвига. Использование в бурении таких промывочных жидкостей существенно снижает кольматацию продуктивных горизонтов. Это крайне важно для вскрытия низконапорных горизонтов при проходке и сооружении нефтяных скважин.

Кроме того, проведенные лабораторные исследования по определению параметров и модификации свойств промывочных жидкостей показали, что металлоорганическая жидкость на основе механоактивированных порошков торфа может применяться, как в качестве базового исходного материала при приготовлении буровых промывочных жидкостей в пределах 15÷50 %, так и в виде дополнительного химического реагента для эффективного регулирования параметров буровых промывочных жидкостей в пределах 1÷5 % (например, глинистых растворов).

Теоретические исследования гидродинамики течения в трубопроводах промывочных жидкостей на основе «ТОРФ-МП» применительно к промывке буровых скважин дают основания однозначно утверждать о многократном снижении кавитационной физико-химической эрозии бурового оборудования. Это в первую очередь относится к значительному снижению вышеуказанного износа бурильных труб и их соединений, турбобуров и породоразрушающих инструментов (шарошек) при бурении нефтегазовых скважин.

В целом вышеуказанные отличительные особенности буровых жидкостей на основе механоактивных порошков торфа позволяют:

- значительно повысить дебит продуктивных нефтеносных пластов;
- увеличить механическую скорость бурения нефтегазовых скважин;
- снизить в ряде случаев энергозатраты на процесс бурения;
- снизить износ бурового оборудования и инструмента;
- исключить экологическое загрязнение среды при бурении скважин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахмадеев Р. Г., Данюшевский В. С. Химия промывочных и тампонажных жидкостей: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1981. 152 с.
2. Кистер Э. Г. Химическая обработка буровых растворов. – М.: Недра, 1972. 321 с.

МАЛОГАБАРИТНАЯ МНОГОСЕКЦИОННАЯ РОТОРНАЯ МЕЛЬНИЦА «ММР-3»

Усов Г. А., Фролов С. Г., Коновалов К. О., Якунин К. С., Поздеев А. С.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Дальнейшее увеличение глубин и объемов бурения, повышение скорости проходки скважин неразрывно взаимосвязаны с улучшением организации обеспечения качественными промывочными жидкостями в необходимых количествах. К приготавливаемым глинистым растворам в настоящее время предъявляются требования учета геологических, технико-технологических и организационных факторов. Это обуславливает определенные требования к используемому для приготовления растворов оборудованию, его разновидностям, принципам действия, производительности и многому другому [1, 2].

Целью настоящей разработки конструкции мельницы с лопастным ротором явилась необходимость повышения степени измельчения и однородности твердой фазы в приготовлении суспензии роторными мельницами. Другой задачей явилось обеспечение предварительного измельчения крупных кусков исходной твердой фазы приготавливаемых суспензий.

Работает мельницы следующим образом (рисунок.1): исходный материал, например, глина непрерывно подается в загрузочный бункер 1, одновременно в мельницу подается жидкая фаза по трубопроводу 16. Крупные куски твердого материала проходят предварительное измельчение на более мелкие фракции между дисками 14 и лопастями 10 первой ступени ротора, т.е. предварительное измельчение твердой фазы невозможно без вращения ротора. При этом за счет свободного поворота дисков на оси 13 и наличия на них зубцов (или выступов) происходит смена режущих кромок в зазоре между дисками 14 и лопастями 10. Отсюда, в процессе измельчения участвуют все режущие кромки, расположенные по окружности дисков, и длительное время они остаются острыми, не затупляются из-за их значительной протяженности.

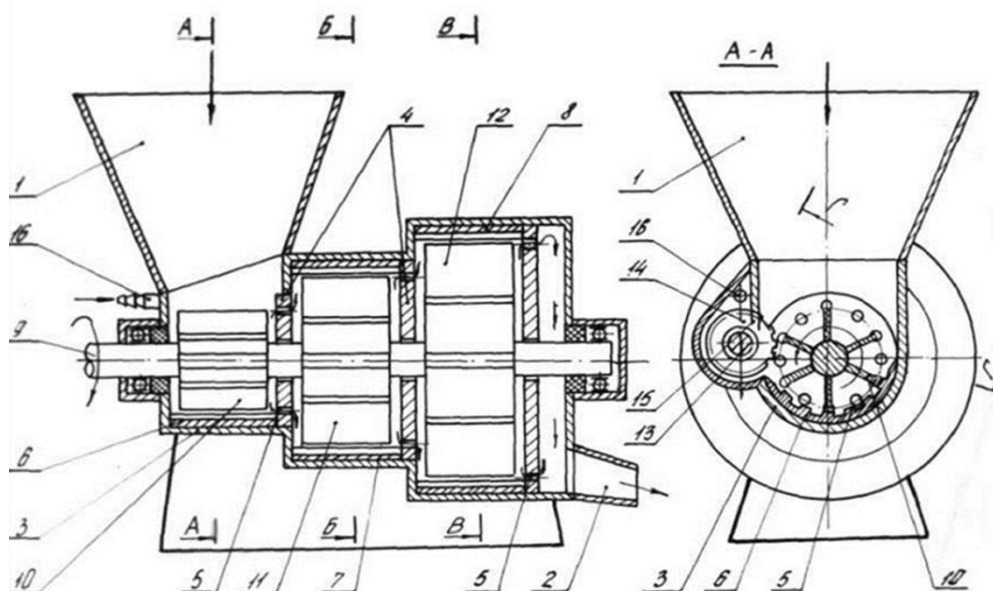


Рисунок 1 – Конструктивная схема роторной мельницы «ММР-2»

Вращаясь, диски 14 одновременно очищаются зубьями гребенки 15. Струя жидкости, истекая под давлением из сплошной щели трубопровода 16, дополнительно промывает диски. Дисками, очищенными от кусков налипшего или застрявшего между ними твердого материала, производится наиболее эффективное предварительное измельчение. Независимое друг от друга свободное вращение дисков обеспечивает наилучшее прохождение и измельчение более крупных кусков твердого материала.

Пройдя стадию предварительного измельчения, твердая фаза продолжает измельчаться лопастями 10 о ребристую поверхность ударной плиты 6. Затем полученная в первой секции корпуса 3 крупнодисперсная пульпа под действием центробежных сил (а значит и давления пульпы), возникающих во вращающемся потоке, по сквозным отверстиям 5, расположенным в боковой стенке 4, поступает во вторую секцию. Во второй и последующей секциях крупнодисперсная пульпа претерпевает более тонкое измельчение, после чего готовая суспензия по отводному лотку 2 выводится наружу. Малый диаметральный размер первой секции корпуса 3 позволяет увеличить силовое усилие лопасти для раздавливания твердых комков исходного продукта измельчения и наоборот увеличение размеров последующих секций обеспечивает лучшее измельчение твердой фазы крупнодисперсной пульпы при больших окружных скоростях движущегося потока пульпы в зонах измельчения (находящихся между ребристой поверхностью ударных плит 7,8 и периферийными кромками лопастей 11,12). Последовательное измельчение в первой, второй и третьей секциях позволяет получить суспензию однородной по фракционному составу и значительно повысить степень измельчения ее твердой фазы.

Производительность описанной мельницы выше известных в 2,5-3 раза и более (в зависимости от числа секции корпуса). Она обеспечивает быстрое и качественное приготовление больших объемов буровых растворов, что позволяет упростить и осложнение при бурении скважин и получить существенный экономический эффект. Так же уменьшается рабочая площадь глинозаводов, поскольку данная мельница заменяет несколько известных роторных мельниц типа «ФСМ». Более эффективное измельчение твердой фазы буровых растворов в разработанной мельнице сокращает расход электроэнергии в 1.2-1.3 раза.

Техническая характеристика многосекционной роторной мельницы

Вид измельчаемого материала.....	любая горная порода
Крупность кусков исходного материала (в поперечнике), мм... до 100	
Производительность, м ³ /ч.....	до 30
Частота вращения лопастного ротора в минуту.....	1000
Диаметр лопастного ротора, мм:	
первой ступени.....	30
второй ступени.....	50
третьей ступени.....	70
Длина лопастного ротора, мм.....	1100
Потребляемая мощность, кВт.....	20
Габаритные размеры, м	
длина.....	200
ширина.....	1600
высота.....	1050
Масса (без электродвигателя), кг.....	420

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рязанов Я. А. Энциклопедия по буровым растворам. – Оренбург: Летопись, 2005. 664 с.
2. Грей Дж. Р., Дарли С. Г. Состав и свойства буровых агентов промысловых жидкостей / Пер. с англ. – М.: Недра, 1985. 509 с.

РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНОЙ ЩЕТОЧНОЙ МЕЛЬНИЦЫ ММЩ-2М ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БУРОВЫХ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Усов Г. А., Фролов С. Г., Коновалов К. О., Якунин К. С., Пономарев В. П.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Разработанная щеточная мельница отличается от других измельчителей механического типа, применяемых для приготовления буровых промывочных жидкостей тем, что процесс измельчения глиноматериала осуществляется за счет непрерывного разрушения его поверхностного слоя щеткой ротора. Как показали теоретические исследования, затраты энергии на измельчение глиноматериала в мельницах со щеточным вооружением ротора гораздо ниже, чем в мельницах с лопастным ротором, где процесс разрушения материала носит объемный характер.

Конструктивная схема разработанной щеточной мельницы представлена на рисунке 1. Мельница состоит из вертикального цилиндрического корпуса 1 с приемным бункером 2 и выходным каналом 3. Цилиндрические стенки внутри полости корпуса 1 покрыты футерованной поверхностью 4. По оси в корпусе 1 размещен ротор 5, выполненный в виде щетки 6, охватывающий вал 7 ротора 5 по всей длине. Между валом 7 и щеткой 6 ротора 5 выполнен кольцевой канал 8. В его нижней части соосно с валом 7 установлена потоконаправляющая труба 9 с окнами 10, закрепленная с корпусом 1. Вал ротора 5 снабжен шнеком 11, расположенным внутри потоконаправляющей трубы 9.

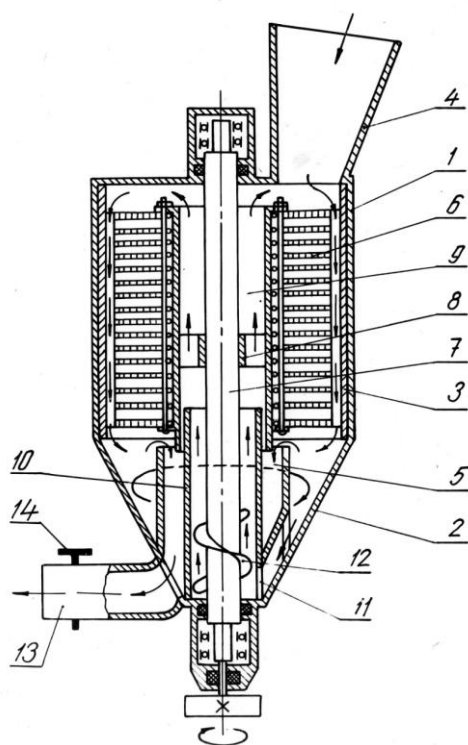


Рисунок 1 – Схема щеточной мельницы ММЩ-2М

Мельница работает следующим образом. В корпус 1 через приемный бункер 2 производится непрерывная подача твердой и жидкой фазы приготавливаемой буровой промывочной жидкости. Перемещаясь в корпусе 1 сверху вниз глиноматериал подвергается разрушению и одновременно перемешивается с жидкой фазой под воздействием щеток 6 вращающегося ротора 5. В нижней части корпуса 1 мельницы происходит разделение потока приготавливаемой промывочной жидкости. Приготовленная жидкость (глиноматериал измельчен до частиц заданного линейного размера) отводится из корпуса 1 через выходной канал 3. Недоизмельченные частицы твердой фазы, линейный

размер которых больше задаваемого, осаждаются в нижней части корпуса 1 мельницы. Отсюда они подхватываются движущимся потоком жидкости, который создается шнеком 11 и перемещаются через окна 10 по полости потоконаправляющей трубы 9 и кольцевому каналу 8 к верхнему пространству корпуса 1, т. е. в исходное положение.

Разработанная конструкция щеточной мельницы позволяет производить разделение измельчаемого глиноматериала по фракциям и выводить из рабочей полости готовую промывочную жидкость с частицами твердой фазы, измельченными до заданной степени дисперсности. Это способствует сокращению непроизводительных затрат энергии на осуществление процесса приготовления бурового раствора, т.к. практически конструкция мельницы исключает процесс переизмельчения.

Затраты мощности $N_{ш}$ на привод мельницы складываются из затрат мощности на осуществление процесса измельчения $N_{ш}'$, на преодоление вязкостного трения N_{ϵ} при вращении ротора мельницы в среде приготавливаемой промывочной жидкости и на транспортирование N_m недоизмельченного глиноматериала в рабочей полости мельницы

$$N_{ш} = N_{ш}' + N_{\epsilon} + N_m \quad (1)$$

Затраты мощности $N_{ш}'$ на осуществление процесса измельчения определяются производительностью $Q_{ш}$ мельницы по глиноматериалу и величиной удельной энергии $E_{ш}$, затрачиваемой на измельчение единицы его объема.

$$N_{ш}' = E_{ш} \cdot Q_{ш} \quad (2)$$

Затраты мощности на преодоление вязкостного трения при вращении ротора мельницы в среде приготавливаемой промывочной жидкости определяется как

$$N_{\epsilon} = \frac{200\mu\omega 2\pi}{1} ((R_{ш}^4 - \mathcal{C}_{ш}^4) \cdot 2/Z_1 + (h_{ш} * R_{ш}^3)/Z_2), \quad (3)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости приготавливаемой промывочной жидкости; ω – угловая скорость вращения ротора; $R_{ш}$ и $\mathcal{C}_{ш}$ – радиусы рабочей полости и ротора мельницы; $h_{ш}$ – длина ротора; Z_1 и Z_2 – зазоры соответственно между торцевыми поверхностями ротора и верхней и нижней крышками корпуса, и между щеткой ротора и футированной поверхностью корпуса.

Затраты мощности N_t на транспортирование недоизмельченного материала в рабочей полости определяется как

$$N_m = 2,72Q_m \cdot q_p \cdot h_{ш} \cdot K_m (W + 1) \quad (4)$$

где Q_m – производительность транспортирования шнеком; K_m – коэффициент, учитывающий потери на трение ($K_t=1,3-1,5$); q – постоянная ($q=9,82$); W – опытный коэффициент сопротивления при перемещении материала шнеком ($W=1,9-2,3$)

$$Q_m = 1800\pi^2 D_{\epsilon}^2 \psi h_{\epsilon} \lambda \quad (5)$$

где D_{ϵ} – диаметр шнека; ψ – коэффициент заполнения шнека ($\psi=1$); h_{ϵ} – шаг винта шнека; λ – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона оси шнека к горизонту на его производительность (при $\delta=90^\circ$, $\lambda=0,4$).

Решение уравнений (3), (4) и (5) при следующих конструктивных параметрах: $\mu=10^{-4}$ Н/м²; $\omega=104,86$ рад/с; $R_{ш}=0,25$ м и $\mathcal{C}_{ш}=0,24$ м; $Z_1=0,25$ м и $Z_2=0,81$ м; $h_{ш}=0,6$ м; $D_{\epsilon}=0,15$ м; $h_{\epsilon}=0,07$ м, дало следующие численные значения: $N_{\epsilon}=6,88$ кВт; $N_t=1,77$ кВт при $Q_{ш}=16,11$ м³/ч.

Затраты энергии на привод мельницы без учета затрат на осуществление процесса измельчения составляет 8,65 кВт·ч. В зависимости от степени измельчения S и подачи $Q_{ш}$ материала в мельницу общие затраты мощности, необходимые для осуществления процесса измельчения, будут изменяться от 9,0 кВт до 12,5 кВт.

Техническая характеристика мельницы. Вид материала – глина бентонитовая; линейный размер частиц, м: исходная – 0,1; минимальная – 10^{-4} ; производительность – 16 м³/ч; мощность – 12,5 кВт·ч; скорость вращения ротора – 104,86 рад/с; габариты мельницы, мм: длина – 1500, ширина – 1000, высота – 1800; масса – 350 кг.

Следует отметить, что щеточная мельница, как показали результаты ее эксплуатации в производственных условиях, может с успехом применяться не только для приготовления буровых промывочных жидкостей на основе глиноматериалов, но и с использованием мела, извести, цемента, их смесей и одновременной обработкой различными химическими реагентами.

СПОСОБ МЕХАНОАКТИВАЦИИ БУРОВЫХ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ ЭНЕРГОНАПРЯЖЕННЫМ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Усов Г. А., Фролов С. Г., Эйнгорн С. Г., Якунин К. С., Коновалов К. О.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Мокрый метод механоактивации дисперсных систем является наиболее технологичным при реализации в полевых условиях, с целью повышения вяжущих свойств тампонажных буровых растворов. Поэтому разработка новых высокоэффективных методов данного вида механоактивации дисперсных систем вяжущих материалов является актуальной проблемой, особенно при цементировании нефтегазовых скважин [1].

Эффективность мокрого метода механоактивации тампонажных смесей на основе цемента авторами предварительно исследовалась в лабораторных условиях. Выполнение лабораторных работ включало в себя предварительную активацию исходных вяжущих, из которых готовятся исследуемые тампонажные смеси, а затем активировались сами смеси. В качестве вяжущих использовались цементы следующих марок: М200; М300; М400.

Активация вяжущих осуществлялась путем мокрого механического сверхтонкого измельчения лабораторными лопастными активаторами до размеров частиц преимущественно от 10 до нескольких микрон с удельной поверхностью до 0,6-0,8 м²/г. Пробы были изготовлены из цементного теста, подвергнутого вышеуказанному гидромеханическому воздействию. Мокрая механоактивация растворов производилась на протяжении разных интервалов времени (20, 40, 60 мин.).

Анализ результатов лабораторных исследований подтверждает эффективность мокрого метода механоактивации вяжущих (предел прочности цементного камня на сжатие $\sigma_{сж}$ увеличивается на 30-40 %) и необходимость существенного увеличения энергонапряженности процесса механоактивации вяжущих. Для повышения эффективности мокрой механоактивации, как показали лабораторные исследования, целесообразно повышение скорости движения измельчающей среды. Это возможно осуществить в закрученных потоках жидкости.

Закрученный поток формирует поле центробежных массовых сил и обладает следующими специфическими особенностями:

- в случае формирования кольцевых закрученных потоков без механического воздействия на него рабочих органов измельчительного аппарата успешно решается проблема чистого помола, так как в кольцевом закрученном потоке реализуется процесс самоизмельчения;
- поток имеет соизмеримые значения осевой, вращательной и радиальной составляющих скорости;
- поток имеет продольный и поперечный градиенты статического и полного давления;
- поток имеет существенное значение градиента скорости в поперечном сечении; отличается высоким уровнем турбулентных пульсаций;
- осуществляет активное и консервативное воздействие центробежных сил на поток.

Закрученные потоки эффективно используются во многих механизмах для реализации сложных процессов.

Принцип работы предложенного способа, работающего в режиме самоизмельчения в кольцевом закрученном потоке, поясняется эскизом на рисунке 1.

Устройство, с помощью которого реализуется предлагаемый способ измельчения твердых материалов (рисунок 1), состоит из цилиндрического горизонтального корпуса 1 с футеровкой 2 внутренней его поверхности, загрузочного бункера 3 и выгрузочного патрубка 4 с регулировочным краном 5. Внутри корпуса 1 соосно размещен ротор, содержащий вал 6 с подшипниковыми опорами 7, две ступицы 8, на которых закреплены лопасти 9 с одинаковым зазором 10 между периферийной кромкой лопасти 9 и поверхностью футеровки 2 корпуса 1.

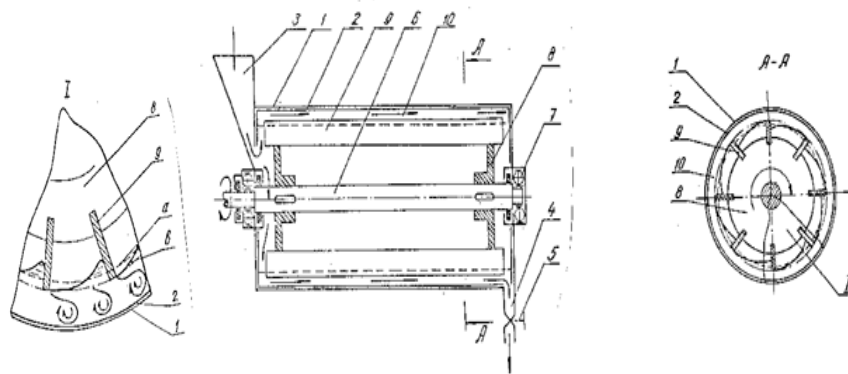


Рисунок 1 – Устройство для механоактивации в кольцевом энергонапряженном закрученном потоке

Измельчение твердых материалов по предлагаемому способу осуществляется следующим образом. При вращающемся роторе исходный продукт подается в рабочую камеру в виде пульпы с крупностью кусков от 1 до 10-15 мм при водотвердом отношении в пределах от 0,5 до 1,5. Вращающиеся лопасти 7 ротора механически формируют внутри корпуса кольцевой закрученный поток с усредненной внутренней поверхностью S' . При этом лопасти 7, вращаясь с высокой скоростью, порядка 1500-3000 об/мин, интенсивно деформируют внутреннюю поверхность кольцевого потока до некоторой граничной области S'' . В результате такой деформации во всем объеме кольцевого потока на всю его толщину возникают завихрения, обладающие повышенными турбулентными характеристиками. Твердый материал при этом активно взаимодействует друг с другом и с лопастями 7 ротора, измельчаясь вследствие малого значения водотвердого отношения измельчаемого продукта. Кроме того, находясь в области активного протекания кавитационных процессов в закрученном потоке, материал также эффективно разрушается. В процессе работы устройства необходимая толщина закрученного кольцевого потока устанавливается регулировочным краном 5. Проходя через рабочую камеру, исходный продукт в виде текучей пульпы измельчается и выводится наружу через выгрузочный патрубок 4.

Предлагаемое водотвердое отношение в пределах 0,5-1,5 обеспечивает высокую степень взаимодействия твердых частиц друг с другом и рабочими органами, например, лопастями вышеприведенного устройства, что способствует существенному повышению интенсификации разрушения твердых частиц путем их истирания. При этом во встречных закрученных потоках, имеющих, как известно, высокие скорости вращения, твердые частицы дополнительно разрушаются при соударении друг с другом.

Процесс механической активации дисперсных систем возможно интенсифицировать двумя путями: за счет увеличения доли динамической составляющей разрушающей нагрузки и за счет увеличения количества одновременно протекающих актов разрушения, что обеспечивает сокращение интервалов времени между двумя последовательными актами. Реализация намеченных путей может быть достигнута только при высоких скоростях движения рабочих органов и их количестве в устройстве. Однако ключевым условием эффективности измельчения по предложенному способу, как показали экспериментальные исследования, является водотвердое отношение в пределах 0,5-1,5 %. Это вполне отвечает требованиям приготовления буровых тампонажных растворов, в том числе при цементировании нефтегазовых скважин. Экономически внедрение предлагаемой разработки в производство, по мнению авторов, является крайне актуальным [2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пьячев В. А., Половова Э. А. Зависимость прочности цемента от его дисперсности. – М.: Цемент, 1992. № 10.
2. Ходаков Г. С. Физика измельчения. – М.: Наука, 1972. С. 307.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОИЗВОДСТВУ СУХИХ ТАМПОНАЖНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Усов Г. А., Фролов С. Г., Эйнгорн С. Г., Якунин К. С., Коновалов К. О.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Первые систематические исследования в области механохимии высокомолекулярных соединений были проведены еще в 1920-х годах, когда было обнаружено, что механическая обработка полимеров, например измельчение каучука, древесины, целлюлозы, приводит к уменьшению молекулярной массы и деструкции макромолекул. Деструкция и образование различных нарушений структуры приводят к изменению свойств полимера, особенно растворимости, устойчивости к действию химических агентов, способности к набуханию, прочности при растяжении, усталости и ударной вязкости, а также упругости и пластичности.

Из всего многообразия органических полимеров наибольший интерес представляет природный полисахарид – крахмал. Выбор крахмала в качестве объекта исследования обусловлен, во-первых, доступностью практически неисчерпаемой сырьевой базы крахмала (с учетом достижений генетики), во-вторых, большинство крахмалосодержащих материалов имеет такие полезные свойства, которые отсутствуют у синтетических полимеров.

Современная гроздевидная модель молекулы крахмала состоит из двойных спиралей, имеющих наружный диаметр порядка 10 ангстрем, а внутренний диаметр 3,5 ангстрема. Для справки: молекула воды имеет размер 2,8 ангстрема, что не позволяет ей проникнуть внутрь спиралевидной молекулы крахмала и делает его нерастворимым в холодной воде.

Физико-химические свойства нативного крахмала не всегда удовлетворяют требованиям потребителя. Однако легкая изменяемость свойств крахмала в результате различных воздействий на него зачастую позволяет провести такую обработку, в результате которой крахмал приобретает свойства, необходимые потребителю. Крахмалы с направленно измененными свойствами называют модифицированными. На сегодняшний день разработано более двухсот различных видов модифицированных крахмалов, потребляемых различными отраслями промышленности.

На базе ультраскоростного энергонапряженного измельчительного аппарата центробежного типа МКЦ-4М научный коллектив кафедры ТТР МПИ разработал уникальную технологию модификации органических полимеров методом сухой холодной механохимической деструкции, позволяющую производить в промышленных объемах модифицированный строительный крахмал марки МК(С)-5М.

Самыми эффективными по динамике нагружения измельчаемого материала и степени измельчения на сегодняшний день являются вибромельницы, дезинтеграторы, планетарные мельницы и ряд конструкций коллоидных измельчителей, используемых при механоактивации различных материалов. Разработанная конструкция роторно-каскадной измельчительной машины центробежного типа МКЦ-4М реализует наиболее эффективный способ измельчения – истирающе-раздавливающий и позволяет осуществлять процесс механоактивации в режимах, на порядок превышающих возможности вышеперечисленных измельчительных устройств. Исходный материал, проходя по всей длине рабочей зоны измельчительного устройства в процессе механоактивации, подвергается нагружению более 1500 раз с временными промежутками между нагружениями порядка 30-тысячной доли секунды. Столь высокая частота нагружений не позволяет измельчаемому материалу восстанавливать свои прочностные свойства, что, в свою очередь, значительно повышает эффективность измельчения и механоактивации. В процессе механоактивации молекулы крахмала, имеющие наноразмеры, как говорилось выше, разрушаются, что приводит к изменению их свойств (становятся растворимыми в холодной воде), а разрушенные частицы сшиваются вводимыми химическими соединениями, что дополнительно изменяет их свойства в заданном направлении.

Разработанный модифицированный строительный крахмал МК(С)-5М может производиться из любых видов нативных крахмалов: картофельного, кукурузного, тапиокового, пшеничного и др. Настоящий реагент МК(С)-5М может быть использован в нефтегазодобывающей и строительной промышленности в качестве специальной добавки для придания растворам на минеральном и органическом вяжущем специфических свойств, обеспечивающих:

- эффективное загущение и повышение вяжущих свойств растворной смеси;
- высокую степень удержания влаги в процессе твердения;
- повышение прочности строительных растворов в конечном продукте;
- пластичность и эластичность растворов кладочных, штукатурных, шпатлевочных смесей;
- устойчивость к сползанию растворов, клеевых и штукатурных смесей;
- увеличение значения водопотребности и выхода штукатурных и шпатлевочных смесей;
- улучшение поверхности и финишной отделки смесей;
- увеличение времени использования приготовленных строительных растворов;
- экономичность, сокращение затрат на производство готовых продуктов;
- создание конечных продуктов с новыми свойствами.

Кроме того реагент МК(С)-5М совместим с карбоксиметилцеллюлозой, гидроксипропилцеллюлозой и другими органическими связующими. При ручном и машинном нанесении растворов добавка МК(С)-5М повышает стойкость, существенно улучшается технологичность, гладкость, устраняет комкообразование, особенно для гипсовых систем, значительно увеличивает водопотребность (на 40...70 % выше, чем у импортных добавок на основе крахмала). В клеях и шпатлёвках, требующих высокого содержания метилцеллюлозы, предложенный реагент устраняет клейкость при переработке (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Ориентировочный расход строительного крахмала МК(С)-5М в различных строительных смесях

Строительная система	МК(С)-5М в расчете на сухую смесь, % вес.
Штукатурка (ручная или машинная): на гипсовой или гипсово-известковой основе на цементной или цементно-известковой основе	0,02-0,05 0,02-0,1
Кладочный раствор	0,005-0,02
Клеи: на цементной основе на гипсовой основе	0,05-0,05 0,02-0,1
Шпатлёвки: на цементной основе на гипсовой основе	0,02-0,05 0,02-0,1

Более убедительным доказательством принадлежности данной разработки к нанотехнологиям, по сравнению с вышеприведенными литературными данными о наноразмерах отдельных элементов молекулы крахмала, является исследование порошка строительного модифицированного крахмального реагента марки МК(С)-5М с помощью полуконтактной атомно-силовой микроскопии, реализованной на сканирующем зондовом микроскопе NTEGRA Thermo в Уральском центре коллективного пользования «Современные нанотехнологии» (УрФУ, г. Екатеринбург).

По результатам исследования морфологии частиц модифицированного крахмала (полученного методом сухой холодной механохимической деструкции), осажденных на поверхности слюды, методами сканирующей зондовой микроскопии было установлено, что они представляют собой агрегаты из частиц-мономеров размером от 30 до 200 нм, усредненный характерный размер частиц составляет ≈ 64 нм.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ГЛИНОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ БУРОВЫХ ОЧИСТНЫХ АГЕНТОВ

Фролов С. Г., Усов Г. А., Суворова А. А., Якунин К. С., Коновалов К. О.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Основным процессом, протекающим при приготовлении буровых промывочных жидкостей, является процесс измельчения твердой фазы. В связи с этим можно говорить, что конструирование оборудования для приготовления буровых очистных агентов, определение оптимальных режимов его работы взаимосвязано с развитием теоретической базы в области механического измельчения твердых тел. Так для определения рациональной области применения механического измельчения глиноматериалов необходим вывод зависимости, определяющей величину удельных затрат энергии ϵ_m на приращение свободной или вновь образованной поверхности [1].

В процессе измельчения глиноматериала основная доля энергии расходуется на совершение работы по его предельному упругому деформированию e . Часть энергии затрачивается на пластические деформации β в поверхностных слоях разрушаемого тела, на преодоление сил трения γ при движении рабочего органа в теле разрушаемого материала и на образование свободной поверхности G .

В каждом отдельном акте разрушения затраты энергии u_e на упругое деформирование измельчаемого материала пропорциональны объему разрушения и равны:

$$U_e = eX_0^3 a_3 \quad (1)$$

где e – плотность энергии, необходимой для хрупкого разрушения; X_0 – средний размер исходных частиц измельчаемого материала; a_3 – коэффициент объема частиц. Затраты энергии U_β на пластические деформации, пропорциональны объему деформируемой зоны. Если принять толщину слоев l тела, в которых совершаются пластические деформации, неизменной в процессе измельчения материала, то затраты энергии на пластические деформации составят:

$$U_\beta = 6\beta l X_0^2 a_3. \quad (2)$$

Затраты энергии U_γ на преодоление сил трения при разрушении глиноматериалов пропорциональны площади вновь образованной поверхности и составляют:

$$U_\gamma = 2\gamma X_0^2. \quad (3)$$

При диспергировании материала затраты энергии U_σ на образование свободной поверхности пропорциональны площади вновь образованной поверхности и составляют:

$$U_\sigma = 2\sigma X_0^2. \quad (4)$$

Определив затраты энергии на различные физические процессы, протекающие при разрушении твердого тела, рассмотрим механизм измельчения глиноматериала. Для разрушения тела с линейным размером X_0 до частиц с линейным размером X_1 необходимо затратить энергию U_m , равную [2]:

$$U_m = U_e + U_\beta + U_\gamma + U_\sigma \quad (5)$$

или

$$U_m = eX_0^3 a_3 + 6\beta l X_0^2 a_3 + 2\gamma X_0^2 + 2\sigma X_0^2. \quad (6)$$

Для случая измельчения тела с линейным размером $X_0 + \Delta X_0$ затраты энергии составят:

$$U_m + \Delta U_m = e(X_0 + \Delta X_0)^3 a_3 + 6\beta l (X_0 + \Delta X_0)^2 a_3 + 2\gamma (X_0 + \Delta X_0)^2 + 2\sigma (X_0 + \Delta X_0)^2. \quad (7)$$

Вычитая 6 из 7 и учитывая прирост поверхности при разрушении, получим:

$$\frac{\Delta U_m}{\Delta S_m} = \frac{3}{4} e X_0 a_3 + 3\beta a_3 + \gamma + \sigma. \quad (8)$$

Принимая, что $\frac{\Delta U_m}{\Delta S_m} = \frac{\Delta E_m}{\Delta S}$, где E_m – энергия сообщаемая единице объема измельчаемого глиноматериала, а S – удельная поверхность тела после измельчения:

$$S = \frac{a_2}{a_3} X_1^{-1}, \quad (9)$$

уравнение (8) примет вид:

$$E_m = \frac{3}{4} e a_2 \ln \frac{S}{S_0} + (3\beta a_3 + \gamma + \sigma)(S - S_0). \quad (10)$$

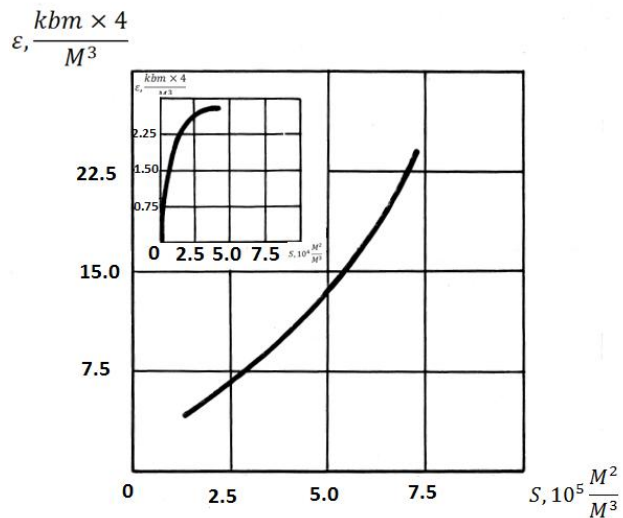
Произведем анализ полученного уравнения (10). Для этого определим численные значения входящих сюда коэффициентов.

При приготовлении буровых промывочных жидкостей в качестве сырья используется глина с линейным размером частиц от 0,075 до 5 мм. Форму исходного материала и образовавшихся после измельчения частиц можно считать соответствующей форме шара. Тогда коэффициент поверхности a_2 будет равен π коэффициент объема a_3 – соответственно $\pi/6$. Энергия на совершение работы по предельному упругому деформированию e при $P=20$ МПа и $E=300$ МПа составляет $66 \cdot 10^4$ Дж/м³. Величина плотности энергии, расходуемой на пластические деформации β при $\tau=12$ МПа составит $24 \cdot 10^4$ Дж/м³. Толщина слоев тела, в которых совершаются пластические деформации, может быть принята равной величине зоны гидратации измельчаемого материала, что для глины не превышает $100 \cdot 10^{-6}$ м. Плотность энергии, расходуемой на преодоление сил трения γ , можно оценить, приняв значение коэффициента трения глины о металл равным 0,12.

Тогда при усилии 10^5 Н, развиваемом при прохождении в теле элементов измельчителя, $\gamma = 12 \cdot 10^2$ Дж/м². Свободная энергия σ единицы поверхности материала не превышает 10^2 Дж/м².

Числовое решение уравнения (10) показывает, что рациональной областью применения машин с механическим диспергированием измельчаемого материала является увеличение его удельной поверхности до величин $5 \cdot 10^4$ - $2,5 \cdot 10^5$ м²/м³. Удельные затраты энергии при этом составляют от 3 до 7,5 кВт·ч/м³ (рисунок 1).

Рисунок 1 – Закономерность изменения энергоёмкости процесса механического разрушения глины



Рассмотрение процесса механического диспергирования глиноматериала говорит об эффективности применения систем, когда в одной машине совмещены два процесса диспергации. Во-первых, глиноматериал здесь механически измельчается непрерывно до частиц с величиной удельной поверхности $5 \cdot 10^4$ - $2,5 \cdot 10^5$ м²/м³. Во-вторых, дальнейшее его измельчение в этом же рабочем объеме мельницы возможно производить, воздействуя на него гидроакустическими колебаниями жидкой среды, в которой протекает процесс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рязанов Я. А. Энциклопедия по буровым растворам. – Оренбург: Летопись, 2005. 664 с.
2. Ходаков Г. С. Физика измельчения. – М.: Наука, 1972. 307 с.

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ В РЕЖИМЕ ВОЛНОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ДИСПЕРСИОННОЙ СРЕДЫ

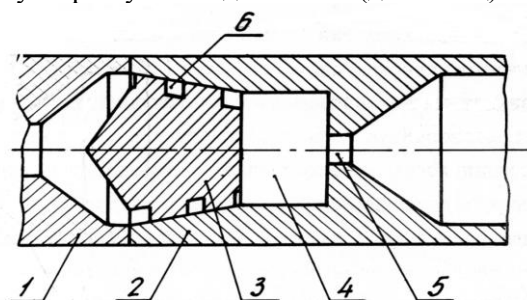
Фролов С. Г., Усов Г. А., Тарасов Б. Н., Суворова А. А., Якунин К. С.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Обработка промывочных жидкостей под воздействием ультразвуковых колебаний с целью дальнейшей диспергации твердой фазы в последнее время находит широкое применение. В практике для этих целей используются два типа излучателей звуковых колебаний: с резонансными клиньями и с вихревой камерой. Последние нашли большое распространение при обработке буровых промывочных жидкостей ввиду простоты конструкции и малых габаритов, что позволяет производить их установку в колонне буровых труб (рисунок 1). Генерирование звуковых колебаний в излучателях с вихревой камерой осуществляется за счет создания в системе интенсивного энергообмена между первичным, вводимым тангенциально в цилиндрическую полость камеры, и вторичным, поступающим из выходного патрубка, вихрями. При этом давление на выходном патрубке меняется с частотой f , определяемой диаметром камеры D и перепадом давлений P_1 и P_2 на входе и выходе излучателя*:

$$f = \frac{C}{\pi D} \left(\frac{P_1 - P_2}{P_2} \right)^{0,5}, \quad (1)$$

где C – скорость распространения звуковой волны в обрабатываемой среде.

Излучатели с вихревой камерой надежны в работе, просты в конструктивном исполнении. Их мощность в ультразвуковом диапазоне (до 30 кГц) составляет от 0,5 до 3 Вт.



1 – корпус; 2 – крышка; 3 – вкладыш; 4 – вихревая камера; 5 – входное сопло;
6 – входные каналы

Рисунок 1 – Схема вихревого гидродинамического излучателя (ГДИ)

Процесс диспергации твердой фазы суспензии в ультразвуковом поле происходит двумя путями: во-первых, под действием ударных волн, возникающих при захлопывании кавитационных пузырьков, которые зарождаются при частоте свыше 20 кГц и мощности звуковой волны до 1 Вт; во-вторых, под действием микроструек жидкости, возникающих при захлопывании несферических кавитационных пузырьков. Преобладание того или иного механизма разрушения обуславливается масштабным фактором, так как связано с начальной формой кавитационного пузырька при его захлопывании. Если размер кавитационного пузырька преобладает над размерами диспергируемых частиц, то условий для начального искажения формы пузырька нет, и он захлопывается с образованием ударной волны. В том случае, когда размер диспергируемых частиц больше диаметра кавитационного пузырька, последний теряет свою форму и при захлопывании образует микроструйку жидкости.

* Новицкий Б. Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах. – М.: Химия, 1983. 192 с.

При обработке буровых промывочных жидкостей имеет место механизм разрушения, связанный с действием ударных волн, что обусловлено малым линейным размером (до 10^{-6} м) частиц твердой фазы [1].

Причиной возникновения кавитации является высокочастотный перевод жидкостной среды обрабатываемой суспензии в метастабильное состояние, а затем возвращение ее в исходное. Переход в метастабильное состояние осуществляется вследствие создающегося отрицательного давления в местах разряжения распространяющейся звуковой волны. Кавитационный пузырек, попадая в область высокой интенсивности ультразвуковых колебаний, начинает пульсировать. Частота колебаний пузырька, кавитирующего под действием звуковых волн, практически равна частоте последних

$$f = \frac{1}{2\pi R_0} \sqrt{\frac{3K}{\rho_v} \left(P_1 - P_2 + \frac{2\sigma_g}{R_0} \right)}, \quad (2)$$

где K – отношение удельных теплоемкостей среды; σ_v – поверхностное натяжение; R_0 – радиус кавитационного пузырька.

Зависимость, определяющая радиус кавитационного пузырька, была эмпирически найдена Брониным Ф. А.

$$R_0 = \frac{0,4}{f} \left(1 - \frac{P_\Gamma}{P} \right) \left(\frac{P}{\rho_g} \right)^{0,5}, \quad (3)$$

где P_Γ – величина гидростатического давления, $P_\Gamma = P_1 - P_2$; P – величина звукового давления.

На скорость протекания процесса ультразвуковой диспергации оказывает влияние тот факт, что единичный кавитационный пузырек обрабатывает одновременно только те частицы, которые находятся в его зоне захвата, определяемой радиусом R_k воздействия кавитационного пузырька:

$$R_k = (X R_0^3 \rho_\Gamma f / \eta)^{0,5}, \quad (4)$$

где ρ_Γ – плотность материала твердых частиц обрабатываемой суспензии; η – сдвиговая вязкость кавитирующей среды.

В результате захвата кавитационным пузырьком диспергируемые частицы флотируются у его поверхности, при этом их концентрация не должна быть выше

$$n_m \leq 4R_0^2 / X^2, \quad (5)$$

в противном случае наблюдается блокировка кавитационного пузырька. Анализ материалов исследований показывает, что при диспергировании в ультразвуковом поле механизм разрушения частиц носит поверхностный характер. При каждом единичном всхлapyвании кавитационного пузырька, энергия ударной волны распространяется на частицы, флотированные у его поверхности. Под воздействием ударной нагрузки происходит отшелушивание материала с их поверхности. Величина энергии ударной волны, передаваемой диспергируемым частицам, определяется исходя из условия равенства кинетической энергии E_k жидкости, движущейся в поле кавитационного пузырька, и согласно Новицкому Б. Г. равна

$$E_k = 2\pi \rho_g R_0^5 f^2, \quad (6)$$

где ρ_v – плотность жидкой фазы обрабатываемой суспензии.

Так как флотированные частицы твердой фазы суспензии располагаются вблизи поверхности кавитационного пузырька, то величину эффективной энергии E' ударной волны, т.е. энергии волны в месте расположения частиц суспензии, определит соотношение

$$E' = E_k / R_0^2. \quad (7)$$

Процесс ультразвукового диспергирования суспензии значительно интенсифицируется, если наряду со знакопеременным звуковым давлением на жидкость наложить определенное постоянное или гидростатическое давление. Очевидно, исходя из приведенной выше зависимости (3), определяющей радиус кавитационного пузырька, что при повышении гидростатического давления размер последнего будет уменьшаться, а это в свою очередь ведет к увеличению скорости распространения ударной волны при его всхлapyвании. Принцип работы и конструктивное исполнение излучателей с вихревой камерой позволяют регулировать величину гидростатического давления в весьма широких пределах [1].

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ АРМИРУЮЩИХ И ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ ТАМПОНАЖНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФУЛЛЕРОИДНЫХ СТРУКТУР УГЛЕРОДА

Усов Г. А., Фролов С. Г., Тарасов Б. Н., Коновалов К. О., Якунин К. С.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Одним из главных химических элементов, которым интересуются ученые в области нанотехнологии, является углерод и его аллотропные формы (рисунок 1). До недавнего времени было известно, что углерод образует четыре аллотропные формы – алмаз, графит, карбин (получен искусственно) и лонсдейлит (впервые найден в метеоритах, затем получен искусственно). При этом уже на этапе перехода углерода от обыкновенного угля до графита отмечаются значительные изменения свойств материала.

В конце прошлого столетия учеными разных стран был открыт целый ряд новых форм углерода, так называемых кластеров. Семейство углеродных кластеров достаточно обширно. Наиболее известными его представителями, за открытие которых в 1990 г. была присуждена Нобелевская премия по химии, являются фуллерены, представляющие собой полые сферические структуры, напоминающие футбольный мяч. Их поверхность состоит из чередующихся шестиугольников и пятиугольников, в узлах которых находятся атомы углерода. Менее известным семейством углеродных кластеров, но значительно более широко применяемым в нанотехнологиях, являются нанотрубки. Закрытая нанотрубка представляет собой полый объект в виде вытянутого в трубу тора, боковая поверхность которого сложена из шестиугольников (как в гексагональной кристаллической решетке графита), а торцы представлены половинками фуллеренов*.

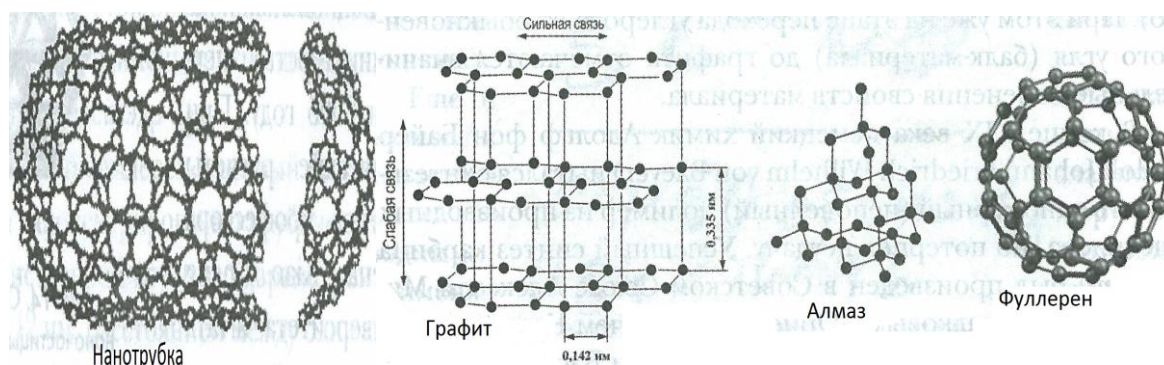


Рисунок 1 – Аллотропные формы углерода

Третьим, менее известным семейством, углеродных кластеров являются астралены, представляющие собой многослойные полиэдральные углеродные структуры фуллероидного типа. Эти кластеры могут иметь достаточно разнообразные сочетания геометрических форм, размеры их находятся в диапазоне от нескольких до десятков нанометров, а поверхность представлена шестиугольными и пятиугольными ячейками.

В настоящее время выяснились совершенно уникальные свойства углеродных кластеров. По прочности они значительно превосходят железо и близки к алмазу, в то же время, по массе легче пластика, являются прекрасными проводниками электричества

* Рамбиди Н. Г., Берёзкин А. В. Физические и химические основы нанотехнологий. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 456 с.

и теплоты, а также обладают магнитными свойствами, хотя сам углерод таких свойств не имеет.

Одна из отраслей промышленности, где нанотехнологии развиваются достаточно интенсивно – строительство. Российские ученые из Санкт-Петербурга, Москвы и Новочеркасска создали так называемый нанобетон, в котором специальные добавки – наноинициаторы, значительно улучшают механические свойства. Предел прочности нанобетона в 1,5 раза выше прочности обычного, морозостойкость выше на 50 %, а вероятность появления трещин – в 3 раза ниже. Разработчики утверждают, что применение подобного бетона удешевляет конечную стоимость конструкции в 1,5-2 раза. Фуллероидные материалы целесообразно вводить в бетон в дозах от одной тысячной до одной десятитысячной доли процента от расхода цемента. Даже такая микродоза фуллероидных материалов позволяет качественно изменить структуру цементного камня или существенно усилить водоредуцирующую способность пластифицирующей добавки.

Для получения углеродных кластеров в настоящее время разработана уникальная технология – синтез в плазме дугового разряда между графитовыми электродами в атмосфере гелия. При данном способе дуговой разряд возникает и поддерживается в камере с охлаждаемыми водой стенками при давлении буферного газа (гелия или аргона). Для получения максимального количества фуллеренов ток дуги должен составлять 65-75 А, напряжение 20-22 В, температура электронной плазмы – порядка 4000 К. В этих условиях графитовый анод интенсивно испаряется, поставляя отдельные атомы или пары атомов углерода внутрь камеры. Из этих паров на катоде или на охлажденных водой стенках формируются различные углеродные наноструктуры.

В России производством коммерческих партий углеродных кластеров занимается Институт физической химии РАН (Москва). Несмотря на очевидные успехи данной технологии, проблема получения высших фуллеренов в количествах, достаточных для полного и всестороннего исследования их свойств, еще далека от решения. Производительность лучших установок не превышает нескольких миллиграммов в час, что явно не достаточно для обеспечения исследований, а тем более для промышленного использования. Стоимость фуллеренов самого высокого качества составляет около 900 \$ США за грамм, более низкого качества – около 40 \$ за 1 грамм, в зависимости от степени чистоты. Эти «недостатки» искусственных фуллеренов искупают фуллерены природные, которые были обнаружены в некоторых разновидностях высококачественного природного угля (шунгит). Впервые о земном существовании уникального вещества научный мир узнал после того, как один из бывших советских ученых исследовал в Аризонском университете (США) образцы некоторых видов угля и, к удивлению, обнаружил там углеродные глобулы с фуллеренами, содержание которых ориентировочно составляет 10-25 %.

Отсутствие на сегодняшний день технологий получения фуллереновых материалов из природного угля (шунгита) объясняется пределом возможностей измельчительных машин промышленного типа. Наиболее эффективные измельчительные устройства, такие, как вибромельницы, планетарные мельницы, коллоидные активаторы и др., позволяют получать порошки твердых материалов с размером частиц до 0,1 мкм (10^{-7} м), что не позволяет вскрыть вмещающую породу (уголь, различные примеси), и обнажить поверхность углеродных кластеров размером 3-15 нм (10^{-9} м).

Научным коллективом кафедры ГТР МПИ Уральского государственного горного университета на базе высокоэффективной энергонапряженной измельчительной техники и многолетнего опыта научно-исследовательской деятельности в области механохимии и сверхтонкого измельчения различных твердых материалов, предлагается к разработке технология получения фуллероидных материалов из природного угля методом механоактивации. На базе полученных природных фуллероидов и смеси других углеродных кластеров возможно, совместно со специалистами по строительным материалам, разработать уникальные реагенты различного назначения для нетегазодобывающей и строительной отраслей.