

О ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ MULTIFOCUSING ПРИ ОБРАБОТКЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

КУРАШОВ И. А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Бурное развитие методов интерпретации и обработки данных сейсморазведки в последнее время, поддержанное, и во многом обусловленное, развитием вычислительной техники, обеспечило появление целого ряда новых, перспективных методов. Одним из таких методов становится технология, получившая название Multifocusing. Этот метод, предложенный Berkovitch и др. (1994) и описанный подробно Landa и др. (2008, 2010), в отличие от стандартного метода ОСТ, позволяет суммировать сейсмотрассы, которые не относятся к одной сейсмограмме. В конечном счете, для формирования изображения может быть использовано значительное число сейсмических трасс, образованных парами источников и приемников, лежащих в пределах определенной апертуры в окрестности центральной расчетной точки.

Проблема построения качественного сейсмического изображения земных недр в условиях недостаточной плотности данных всегда была достаточно актуальной и остается ею и сейчас. Зачастую проведение съемки 3D-МОГТ по плотной сети наблюдений экономически нецелесообразно, а порой по стоимости сопоставимо с разведочным бурением, но при этом желание получать качественные данные несколько не уменьшается. Именно в таких случаях и встает вопрос о том, насколько полно и эффективно мы используем получаемую информацию при обработке данных, можно ли при сохранении технологии полевых работ увеличить, например, кратность суммирования, отойдя при этом от стандартного подхода к обработке данных, практикуемого в методе ОСТ. Как показывает практика, решения данной проблемы существуют, и Multifocusing – одно из них.

Принципиальная схема фокусировки показана на рис. 1, в ходе преобразования подбираются оптимальные параметры и суммирование проходит по прогнозной временной поверхности. С технической точки зрения, решается сложная задача, так как необходимо подобрать три параметра (угол выхода нормального луча β_0 и радиусы кривизны двух основных волновых фронтов, точки нормального падения и нормально падающей волны, показаны на схеме) в двумерном случае и восемь – в трехмерном, по сравнению с одной лишь скоростью суммирования в скоростном анализе метода ОСТ. Такой подход имеет целый ряд преимуществ: 1) суммирование большего, чем в ОСТ (показано на рис. 2), количества трасс позволяет значительно увеличить уровень сигнала к помехе; 2) используемая кинематическая поправка по своей природе не связана с t_0 , и на нее не распространяется явление растяжения трасс в области малых времен, что повышает разрешающую способность по вертикали и может внести существенный вклад в анализ зависимости критических амплитуд от удаления; 3) формула кинематической поправки точнее описывает характер изменения времени пробега для более широкого круга моделей.

Как можно видеть из рис. 3, разрез, полученный с применением описываемой технологии, по сравнению со стандартным, кажется довольно интересным, в основном за счет значительного снижения уровня шума и изображения на записи ряда не выделявшихся ранее объектов. Приведенные в тексте рисунки заимствованы из статьи «Multifocusing as a method of improving subsurface imaging» опубликованной в журнале The Leading Edge в феврале 2008 года (Berkovitch et al, 2011).

Подводя итог важно отметить тот факт, что применяемый способ ввода кинематических поправок – это пусть и достаточно эффективный, но только лишь инструмент. Главным выводом и сказанного стоит сделать подтверждение возможности вовлечь в преобразования широкий набор разных сейсмических трасс, а не тот узкий, ограниченный кратностью съемки, набор трасс ОСТ. А значит, данный подход к анализу данных в будущем продолжит развиваться.

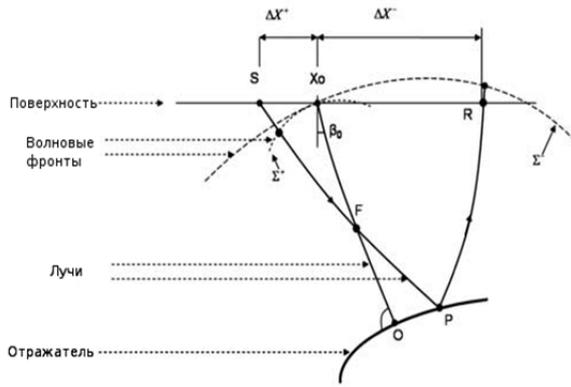


Рис. 1. Схематическое представление принципа фокусировки

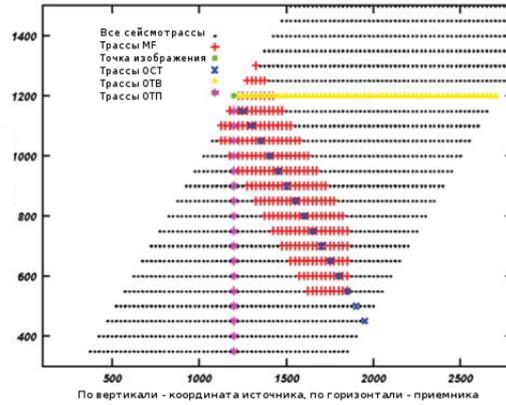


Рис. 2. Схема суммирования и сборки изображений

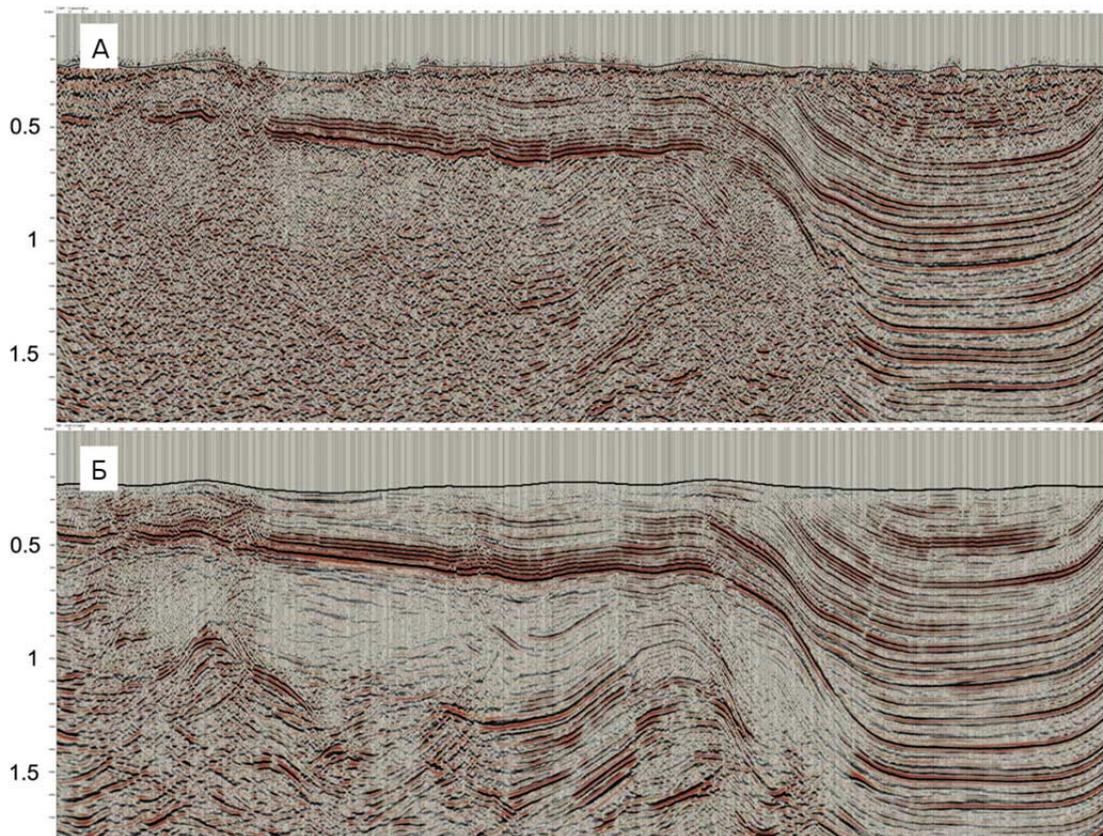


Рис. 3. Сравнение временного разреза, полученного по стандартной технологии ОСТ (а) и разреза с применением Multifocusing (б) (Камчатка, кратность съемки – 41)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Berkovitch A., Deev K., Landa, E. How non-hyperbolic MultiFocusing improves depth imaging. First Break, 2011, 9, P.103-111.
2. Berkovitch A., Gelchinsky B., and Keydar S. Basic formula for MultiFocusing stack. 56th EAGE Conference and Exhibition. Expanded Abstracts. 1994.
3. Berkovitch A., Belfer I., Landa E. Multifocusing as a method of improving subsurface imaging. The Leading Edge, 2008, 2, P. 250-256.
4. Buzlukov V, Baina R., Landa, E. Prestack data enhancement using local travelttime approximation. 72nd EAGE Conference and Exhibition, Extended abstract. 2010.

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ТРАНЗИТНЫХ ЗОН

ЛИТВИНОВ А. С.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

С географической точки зрения транзитные зоны включают береговые топи, заливные участки суши, отмели, дельты рек, мелководные рифы, широкие приливные зоны, глубина воды в которых менее 10-15 м. С позиций сейсморазведки предельное мелководье — это акватория, где применение буксируемой морской сейсмической косы невозможно из-за малых глубин; правильное согласование сейсмоприемников со средой существенно затруднено, использование взрывчатых веществ в качестве источника запрещено, применение пневмоисточников неэффективно, а обычные вибросейсмические источники не дают нужного эффекта из-за слабости грунта. Кроме того, в её пределах повышаются требования к экологической безопасности проведения работ, и возрастает сложность их организации. Также объединяющим признаком зон предельного мелководья акваторий различного типа является и то, что использование типовых плавсредств в качестве носителей сейсмической аппаратуры практически также невозможно, как и применение типовой методики морской сейсморазведки. На береговых участках суши, особенно если это заливаемые и приливные зоны или болота, проведение сейсморазведочных работ с использованием стандартных для суши технологий также невозможно из-за слабости грунтов.

Для эффективного проведения работ возможно использование двух методик: с применением донной косы и с автономными донными регистраторами.

При выполнении работ с донной косой применяют судно буксир сейсмической косы, которое должно развивать достаточное для буксировки усилие, а приемная коса — выдерживать высокие нагрузки на разрыв. Такой подход реализован компанией INPUT/OUTPUT в ее донной 4С косе ОВС и в телеметрической системе X-Zone MarshLine, которая выдерживает разрывные нагрузки до 8 тонн. Эффективность применения буксируемой косы для проведения исследований на мелководье (при глубинах дна от 3 до 5 метров) доказана многочисленными исследованиями. Однако при меньших глубинах в организации работ возникают трудности, связанные с отсутствием транспортных средств, позволяющих развить усилие, требуемое для буксировки косы. Все известные транспортные средства, имеющие необходимую мелкую посадку, не в состоянии обеспечить требуемое для буксировки усилие. Буксировке оборудования мешают и плавающие пучки и даже плавучие «острова» водорослей, что требует совершенствования методики раскладки буйев, обозначающих различные участки профилей и связывающих технологические этапы работ. На участках транзитных зон с глубинами дна, не превышающими 1,5 м, буксировка косы практически не реализуема, и проведение работ возможно пока только путем сбора и размотки «конвейерных» секций косы. Как правило, в транзитных зонах с такими мелкими глубинами дно содержит много техногенного мусора и густые заросли водорослей, что усложняет процесс выбора и раскладки косы, а также ухудшает контакт датчиков с грунтом. Можно было бы предложить проводить предварительную подготовку (траление — очистку) профилей наблюдений, но для этого опять необходимо транспортное средство, которое в состоянии обеспечить требуемое буксирующее усилие. Возможно, что в переходных зонах с глубинами до 1,5 м наиболее эффективным остается применение технологии, принятой при сухопутных исследованиях, когда сейсмические датчики устанавливаются на пикетах приема вручную.

В связи с недостатком технологии буксировки косы необходимо применение более мобильных средств, таких как Автономные самовсплывающие донные регистраторы (АСДР, см. рис. 1, 2).

Применение АСДР для изучения таких участков позволяет избавиться от затруднительного в данном случае буксирования косы. При использовании АСДР в приливных зонах с высокой скоростью течения вод, их можно утяжелять для более надежного контакта с дном, что существенно влияет на полученные данные. Также такую методику можно назвать

универсальной, так как она позволяет производить однородную съемку с суши на море, включая работы в мелководных акваториях, на предельном мелководье, на границах раздела стихий «вода-суша» и на прилегающей суше. Сущность такой методики заключается в том, что по стандартной схеме МОГТ-3D на пункты приёма вместо донной косы с гидрофонами устанавливают АСДР, которые непрерывно ведут запись. После окончания съемки АСДР собирают и извлекают из них информацию.

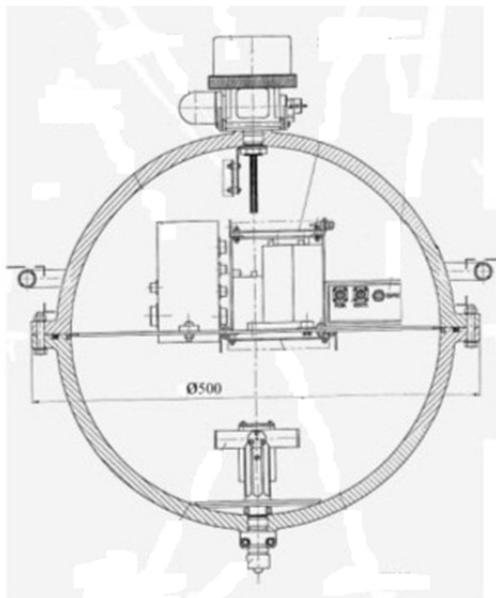


Рис. 1. Схема АДСР

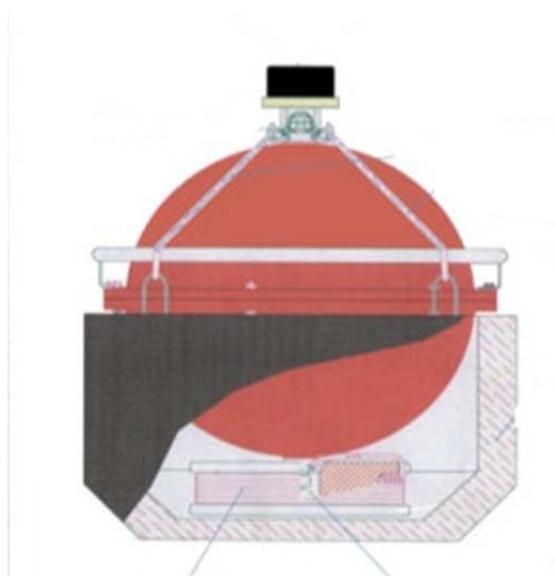


Рис. 2. Внешний вид АДСР

Всё же изучение транзитных зон остается не до конца решенной задачей, и продолжают поиски новых технологий для изучения. Однако чаще всего ограничиваются адаптацией к новым условиям существующих технологий морских или сухопутных работ.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РАЗРЕШЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ ПРИ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ МНГОВОЛНОВОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

ПЬЯНКОВ А. А.
ООО «Геология резервуара»

Комплексирование продольных и обменных волн позволяет получить новую информацию об объекте исследования. При этом точность и достоверность результатов обработки тесно связаны с их качеством. Как известно, сейсмические данные, полученные по средствам обменных волн, обладают более низкой частотой по сравнению с данными по продольным волнам. В свою очередь, *PS* волны имеют и ниже скорость, чем *PP* волны, что позволяет получать более детальные разрезы. Для оценки данных разного типа волн проводят анализ амплитудных, частотных значений в целевом интервале, а также прослеживаемость осей синфазности на полученных разрезах по *PP* и *PS* волнам.

Для объективной и количественной оценки материалов по разным типам волн (*PP* и *PS*) предлагается расчет коэффициента разрешенности (λ) в целевом интервале, на основании которого можно говорить о качестве полученных разрезов. Это позволит сократить время при анализе, а также будет являться дополнительной характеристикой при оценке качества данных любого типа.

Разрешенность записи – величина, характеризующая возможность разделения сигналов от близко расположенных границ; она определяется длительностью колебаний единичного отражения, а при наличии помех – также и отношением сигнал/помеха [1].

В 1989 году М. В. Widdes предложил и проанализировал формулу для расчета коэффициента разрешенности (power resolving) для известной формы отражающего сигнала [2]:

$$P_R = q \frac{a_m^2}{E}, \quad (1)$$

где a_m^2 – максимальная (абсолютная) амплитуда сигнала, E – энергия волны, q – среднее значение сигнала, который определяется по формуле.

На основе автокорреляционной функции трассы (Гогоненков, 1990) предложена оценка разрешенности (2), не учитывающая истинный фазовый спектр сигнала:

$$P_R = \frac{1}{\theta} \frac{S_1}{S_{2-4}}, \quad (2)$$

где θ – ширина главного полупериода автокорреляционной функции; S_1 – площадь главного полупериода, S_{2-4} – суммарная площадь последующих трех полупериодов.

Анализ предложенной формулы показал, что расчет коэффициента разрешенности можно проводить как по одной трассе в большом окне расчета, так и по группе трасс, при этом коэффициент разрешенности рассчитывается по каждой трассе, а потом берется их медианное значение.

Количественный метод оценки разрешенности (λ) позволяет объективнее анализировать результаты по волнам разного типа, а также применять предложенный критерий в процессе обработки материала при выборе и корректировании параметров графа обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никитин А. А., Петров А. В. Теоретические основы обработки геофизической информации. М.: РГГУ, 2008. 112 с.
2. Widdess M. Quantifying resolving power of seismic systems // Geophysics. 1982. Vol. 47. pp. 1160-1173.

ВОЗМОЖНОСТИ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ 3D ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

СЫРКИНА Ю. Ю.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

На сегодняшний день сейсморазведочные работы являются важнейшим инструментом анализа геологического строения осадочного чехла и кристаллического фундамента. Другие существующие геофизические методы, которые существенно дешевле, не могут полностью заменить сейсморазведку, высокая степень эффективности результатов которой подтверждается бурением.

В республике Татарстан «сканирование» недр земли при помощи сейсморазведки началось приблизительно с 1956 года. В настоящее время в пределах Татарстана имеется еще достаточное количество перспективных залежей углеводородов. В западной и центральной части Республики Татарстан наблюдаются мелкие и очень мелкие месторождения с проблемными запасами. Проводить здесь геологоразведочные работы затратно, так как шансы получить желаемый результат невелики. Поэтому ГРП должны быть сосредоточены на восточной части Республики Татарстан, оставляя западную часть до лучших времен.

На востоке Татарстана находятся также крупные, но уже истощенные месторождения: Ромашкинское, Бавлинское, Сабачинское, Ново-Елховское, Первомайское, Бондюжское. Они дают в целом около 62 % добычи нефти по ОАО «Татнефть». Что касается Ромашкинского месторождения, то оно является ветераном разработки и находится в эксплуатации уже 65-й год. По некоторым оценкам это крупное месторождение может разрабатываться до конца XXI века, то есть его долголетие будет превышать 150 лет. По еще более оптимистичным прогнозам жизнь этого месторождения продлится до 2285 года за счет «подпитки» новыми порциями углеводородов (рис. 1).

В структуре текущих запасов нефти в Татарстане доля трудно извлекаемых запасов в карбонатных и низкопроницаемых терригенных коллекторах, водонефтяных и высокообводненных зонах, с высокой вязкостью нефти достигает 77 %.

Поэтому сейчас актуален вопрос о детальном изучении особенностей геологического строения и перспектив нефтеносности девонских терригенных отложений на Северо-Востоке западного склона Южно-Татарского свода. Основным продуктивным горизонтом здесь является горизонт У (нижний карбон, визейский ярус, тульский горизонт), так как девонские терригенные отложения в предпозднетиманское время были подвергнуты площадному размыву на различную глубину. Размывом охвачены отложения пашийского горизонта до их полного уничтожения в северной части территории. На отдельных участках размывы и муллинские отложения.

Изучение тектоники территории, геологического строения девонских терригенных отложений, генезиса поднятий, контролирующих залежи нефти, соотношение зон развития коллекторов продуктивных отложений тиманского и пашийского горизонтов способствовало выявлению ряда закономерностей, позволивших уточнить перспективы их нефтеносности и разработать методические рекомендации по рациональному комплексу методов поисков залежей нефти.

При столь сложном геологическом строении и погребенном характере залегания девонской толщи, требуется разработка новых методических приемов, учитывающих оптимизацию комплекса геологоразведочных работ, направленных на подготовку к бурению поднятий в девонских терригенных отложениях как самостоятельного направления [1].

Специалисты-геологи с многолетним опытом работы считают приоритетной подготовку к бурению объектов в девонских терригенных отложениях, отдавая среди геофизических методов предпочтение сейсморазведке, и с необходимым условием доведения плотности сейсмических профилей до 3-3,5 пог. км/кв. км, что повысит качество регистрируемых

отражений от горизонтов «Д» и «А», характеризующих структурные планы терригенных отложений девона и поверхности кристаллического фундамента.

Это соответствует хорошо известной истине, что чем выше плотность профилей, приходящихся на единицу площади работ, тем выше опоискованность локальных поднятий, соответственно залежей нефти, и тем точнее изображение глубинных геологически сложных объектов.

При планировании сгущения сети профилей нужно учитывать разумность величины расходов, которая оставляет деятельность компании недропользователя рентабельной. Должна быть полезна и давать новые сведения получаемая по результатам интерпретации информация. Должны выполняться основные геологические принципы изучения локального поднятия и территории в целом [2].

Плотность и равномерность сети сейсмических профилей, в конечном счете, дает возможность обеспечить качество подготовленных для глубокого бурения объектов, а соответственно и эффективность дорогостоящего поисково-разведочного бурения. Татарстан хорошо изучен сейсморазведкой с достаточно плотной сетью сейсмических профилей, и делать её ещё гуще, как правило, нецелесообразно (рис. 2). В настоящее время уже все чаще заказываются работы МОГТ 3D, так как именно эти работы дают уточненный структурный план перспективного участка, выявления новых перспективных структур, которые раньше попадали в межпрофильное пространство.

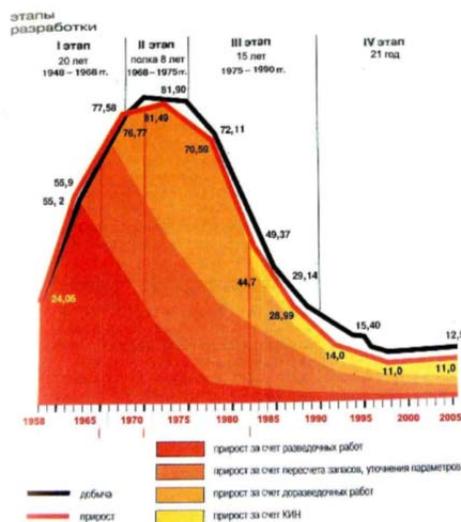


Рис. 1. График жизни Ромашкинского месторождения Татарстан (по Р. Х. Муслимову [1])

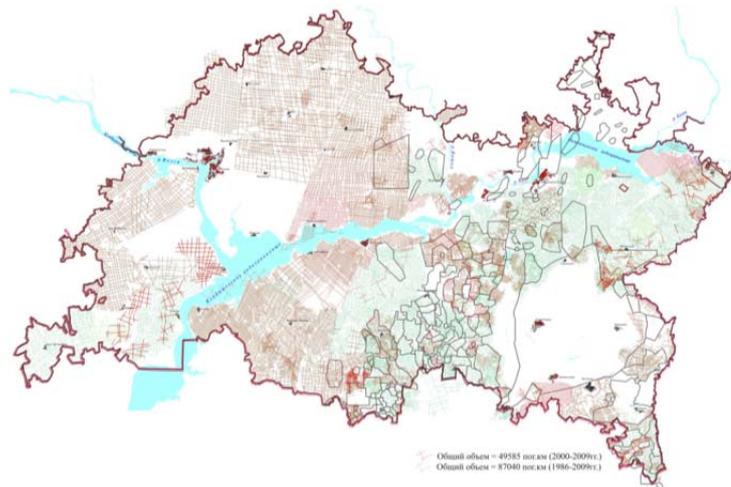


Рис. 2. Схема изученности Татарстана сейсморазведкой

Значительная по объему информация 3D может обеспечить более надежную выдачу рекомендаций по бурению поисково-разведочных скважин на перспективных структурах, которые находятся в сложных тектоно-седиментационных условиях. Это делает сейсморазведку МОГТ 3D незаменимой при уточнении геологического строения месторождений на территории Республики Татарстан.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Увеличение нефтеотдачи – приоритетное направление воспроизводства запасов углеводородного сырья // Материалы международной научно-практической конференции. Казань. 2011. 502 с.
2. Хайдарова А. И. Сейсморазведочные работы МОГТ 3D в южной части Нагорного нефтяного месторождения // Отчёт о работах с. п. 3/10-8 на территории Новошешминского и Альметьевского районов Республики Татарстан, г. Бугульма. 2011. 298 с.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МПВ

СКАЧКОВА М. Ю.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Разнообразные способы обработки данных МПВ на ЭВМ можно подразделить на две группы. В первой группе на начальном этапе предусматриваются автоматическая и полуавтоматическая корреляция преломленных волн и последующая обработка массивов данных о временах их прихода в различные точки профиля с помощью формализованных на ЭВМ традиционных способов, используемых при ручной обработке (разностного годографа, t_0 , полей времен и др.). Во второй группе используют технологические особенности обработки данных на ЭВМ, позволяющие реализовывать в МПВ кинематические и динамические трансформации волновых полей с накоплением слабых сигналов. Результаты обработки представляются в виде временных и глубинных динамических разрезов с зависимостями скоростей, полученных посредством специального автоматизированного анализа.

В зависимости от типа сейсмостанций процедура ввода полевых записей в ЭВМ заключается в оцифровке аналоговых записей с помощью устройств аналог-код или в демультимплексации цифровых записей в стандартный формат, используемый при обработке.

Относительно низкий частотный диапазон сейсмических волн, обычно характерный для МПВ, позволяет применять интервал дискретизации записей от 4 до 16 мс. Однако при изучении верхней части разреза, например при инженерных изысканиях, интервал дискретизации не превышает 1-2 мс. При больших расстояниях источник — приемник предусматривают ввод записей с постоянными или переменными временными задержками.

Редактирование записей МПВ заключается в выделении, отбраковке или исправлении сейсмических трасс или их участков, характеризующихся отсутствием записи и наличием помех, значительно превышающих по амплитуде полезные волны. Предусматривается: инвертирование трасс, записанных в обратной полярности; определение и введение временных поправок за «уход» отметки момента взрыва; сортировка записей в последовательности, требуемой для последующей обработки; уточнение и исправление в этикетках трасс расстояний источник — приемник (при морских работах).

Специфика работ МПВ требует введения ряда временных поправок: за отметку момента взрыва, за линию приведения, за фазовые сдвиги, в совокупности формирующих статические поправки. При морских работах или размещении источника в скважине вводят поправки за различие уровней источника и приемника.

В связи с большим диапазоном изменения расстояний источник — приемник успех цифровой обработки во многом зависит от эффективности регулировки уровня записи. От степени выравнивания амплитуд колебаний на разных трассах зависит точность расчета кинематических параметров волн, эффективность суммирования преломленных волн при получении временных разрезов МПВ, выделении и вычитании регулярных волн и др.

Применение частотной фильтрации и деконволюции к записям МПВ позволяет улучшить условия выделения полезных волн, повысить разрешающую способность метода и эффективность действия интерференционных систем при автоматическом анализе скоростей, построении временных разрезов МПВ и др. Частотная фильтрация в графе цифровой обработки данных МПВ является обязательной процедурой. Наиболее распространен полосовой фильтр, позволяющий выделить полезные сигналы в заданном диапазоне частот и убрать их низкочастотные (до 5-8 Гц) составляющие, ухудшающие действие интерференционных систем.

Основная цель обратной фильтрации (деконволюции) в МПВ — повышение разрешенности записей путем сокращения длительности колебаний. Важное условие эффективности обратной фильтрации — наличие в спектре регистрируемых волн высокочастотных составляющих, превышающих уровень помех.

Одна из наиболее сложно формализуемых на ЭВМ процедур – автоматическая корреляция осей синфазности преломленных волн. Фазовое прослеживание волн осуществляют по сейсмограммам ОПВ, ОПП или временным разрезам ОНП, построенным для разных удалений источник-приемник при многократном профилировании.

Важной задачей в МПВ является определение времен прихода преломленных волн в первых вступлениях, используемых, в частности, для расчета статических поправок. Для этого правильнее использовать переход сигнала через нуль, а не его максимум, так как при наложении случайных помех положение последнего более подвержено искажению.

Для выделения полезных волн применяют интерференционные системы (ИС) с регулируемой направленностью. Так как преломленные волны и интерферирующие с ними отраженные волны в закритической области имеют оси синфазности, близкие к прямолинейным, изменение направленности ИС достигается введением в суммируемые трассы кинематических поправок (временных задержек),

В результате суммирования регулярные волны с кажущимися скоростями, равными V_k складываются синфазно и усиливаются, а другие — ослабляются.

Протяженные зоны интерференции, характерные для записей МПВ, значительно осложняют волновую картину в последующих вступлениях. Применение процедуры вычитания регулярных волн-помех при цифровой обработке данных МПВ позволяет повысить эффективность метода за счет значительного увеличения области прослеживания целевых преломленных волн. Особый эффект от этой процедуры достигается при высокой интенсивности регулярных помех, мешающей выделению целевых волн путем направленного суммирования, и низкой кратности системы наблюдений, не позволяющей уверенно разделить интерферирующие волны при автоматическом анализе скоростей и построении временного разреза МПВ.

Для разделения интерферирующих волн в МПВ применяют веерную фильтрацию, позволяющую пропускать или подавлять сигналы с кажущимися скоростями в заданном диапазоне.

При цифровой обработке записей преломленных волн применяют автоматизированный анализ скоростей и последующую кинематическую трансформацию волновых полей во временные разрезы МПВ. В зависимости от способа построения временного разреза анализу скоростей подвергают сейсмограммы ОПВ, ОПП или ОРТ (ОГП). Получаемые при этом скорости, которые называют скоростями редукции, равны соответственно кажущимся скоростям годографов ОПВ, ОПП или ОГТ.

Сканирование скоростей, или получение фрагментов временного разреза МПВ с кинематическими поправками, соответствующими перебираемым постоянным значениям скорости, позволяет получить наглядное представление о волновой картине. По результатам сканирования возможен визуальный подбор скорости редукции по фрагментам, на которых происходит наиболее эффективное накапливание преломленных волн при обработке данных многократного профилирования или спрямление осей синфазности, образованных ветвями нагоняющих и встречных годографов при обработке систем малой плотности наблюдений, в том числе однократного профилирования.

Вертикальные и погоризонтные спектры скоростей рассчитывают главным образом по записям преломленных волн, отсортированным по ОРТ. При их расчете, в отличие от сканирования скоростей суммотрассы ОРТ, дополнительно усредняют по временной и пространственной координатам. Это обеспечивает более точный автоматический анализ скоростей редукции.

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ

САФЬЯНОВ Д. А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Центральное место в комплексе обработки сейсмических данных занимают процедуры выделения полезных сигналов на фоне помех, объединяемые понятием фильтрация. Выделение базируется на различии основных характеристик полезных сигналов и помех; частотного спектра и кажущихся скоростей [1, 2].

Известно множество модификаций многоканальных пространственно-временных фильтров, различающихся по исходной модели волнового поля, время емкости алгоритма и конечной цели применения. В отличие от одноканальных фильтров, базирующихся на частотном различии полезных сигналов и помех, многоканальных преобразования осуществляют также селекцию по признаку кажущейся скорости и степени коррелируемости сигналов по заданным направлениям. Для M -канального фильтра описывается выражением

$$\tilde{p}_i(t) = \sum_{m=-M/2}^{m=M/2} (a_{mi}(t) \cdot p_{i-m}(t)),$$

где $\tilde{p}_i(t)$ – выходной сигнал на i -м канале; $p_i(t)$ – входной сигнал на i -м канале; $a_{mi}(t)$ – оператор многоканального фильтра, который можно рассматривать как набор $M+1$ одноканальных фильтров [3].

Наиболее часто применяют модификацию пространственных фильтров, где оператор не зависит от номера канала $a_{mi}(t)$.

Многоканальные фильтры для выделения сигналов с прямолинейными осями синфазности. Простейшей разновидностью таких фильтров является скоростной фильтр, описываемый выражением [4]

$$\tilde{p}_i(t) = \sum_{m=-\frac{M}{2}}^{\frac{M}{2}} \delta(t - \Delta t m) \cdot p_{i-m}(t),$$

здесь $\delta(t)$ – единичный импульс Кронекера, $\Delta t_m = \frac{m\Delta x}{v_{k0}}$, где Δx – шаг между каналами; v_{k0} – заданная кажущаяся скорость.

Веерный фильтр основан на принципах пропускания без искажения сигналов внутри заданного веера кажущихся скоростей $-v_{kc} < v_k < v_{kc}$, (где $2v_{kc}$ – ширина пропускания) и подавления регулярных сигналов вне его. Модификацией веерной фильтрации является веерный режекторный фильтр, подавляющий регулярные сигналы в заданном диапазоне v_k .

Его весовая функция является дискретной: $\alpha(t, x) = \alpha_{qm}$, где

$$\alpha_{qm} = \frac{1}{\pi^2 \left(\frac{\sin \pi m}{m} \cdot \frac{\sin \pi q}{q} - \frac{1}{m^2 - q^2} \right)}.$$

В связи с тем, что при практической реализации весовая функция режекторного и пропускающего фильтров имеет конечную длительность, фактическая частотная характеристика веерных фильтров отличается от заданной. Наиболее существенным является завал частотной характеристики пропускающего фильтра в области низких частот: он тем больше, чем меньше канальность и уже веер пропускания.

Применение многоканальной фильтрации основано на различии сигналов и помех по кажущейся скорости, кривизне годографов и степени коррелируемости полезных сигналов по профилю. Так, например, известно, что прямая волна приходит в точку регистрации всегда раньше, чем отраженная. Поэтому полезный сигнал на сейсмограмме ОПВ всегда можно «отсечь» от прямой волны и различных поверхностных волн.

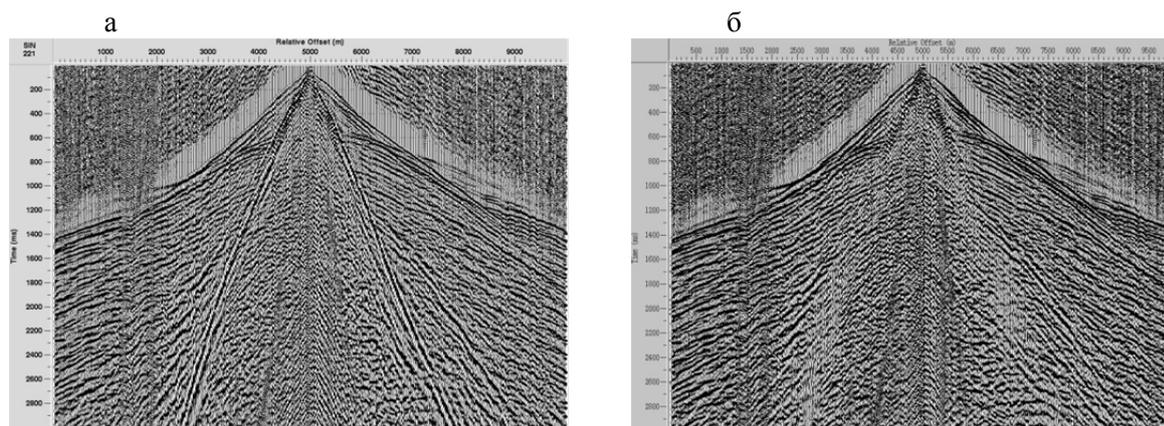
При практической реализации веерный фильтр можно построить таким образом, чтобы существовала возможность произвольно расширять или сужать растр веера, настраивая его на желаемое значение V_k .

Существует множество модификаций многоканальных пространственно-временных фильтров различной структуры и назначения. Одним из таких модификаций является веерный режекторный фильтр, подавляющий регулярные сейсмические сигналы в заданном диапазоне кажущихся скоростей V_k .

Режекторные фильтры используются в цифровой обработке для подавления волн-помех, которые имеют узкополосный спектр. Чаще всего, эти волны помехи связаны с различными физическими эффектами, возникающими при работе электрических линий и промышленных генераторов.

В качестве примера была взята сейсмограмма одного из профилей Западно-Сибирской платформы, на которой наблюдаются явно выраженные отраженные волны, а также волны-помехи (см. рисунок). Для выделения и подавления поверхностных волн было задано окно данных согласно скорости распространения волн и их диапазона. Данные преобразуются из пространственно-временных трасс в F - K область двумерным преобразованием Фурье. После применения F - K фильтра данные преобразуются снова в форму сейсмических трасс обратным преобразованием Фурье.

Как видно из рисунка (б), произошло подавление поверхностных волн, благодаря чему повысилась качество обработки и интерпретации данных. Стали более прослеживаемы отраженные волны (на времени 1000-1200 мс). Таким образом, благодаря алгоритму преобразования данных и выделения волн-помех, повысилась результативность.



Полевая сейсмограмма:

а – до применения фильтрации; б – после применения многоканального фильтра

Существуют множество модификаций веерного фильтра, но, к сожалению, не все работают на той или иной площади. Например, из-за сложного геологического строения на Западно-Сибирской платформе для выделения волн-помех лучше всего подходит режекторный веерный фильтр, так как другие не приносят должного результата. Проблема выделения волн-помех и дальнейшее их преобразование до сих пор является весомой проблемой в сейсморазведке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козлов Е.А., Гогоненков Г. Н., Лернер Б. Е. [и др.]. Цифровая обработка сейсмических данных. М.: Недра, 1973. 312 с.
2. Бондарев В. И. Основы обработки и интерпретации данных сейсморазведки. Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2001. 198 с.
3. Хэмминг Р. В. Цифровые фильтры. М.: Недра, 1987. 221 с.
4. Сейсморазведка. Справочник геофизика. Т. 2. / под ред. В. П. Номоконова. М.: Недра, 1990.

ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТ НА АКВАТОРИЯХ

МАКСИМЕНКО А. Е.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Технология работ на акваториях характеризуется следующими основными особенностями: наличием толщи воды, определяющей условия возбуждения, распространения и приёма упругих волн; применением специальных источников возбуждения и приемных устройств; применением радиогеодезической и гидроакустической привязки пунктов приёма и возбуждения; использованием судов в качестве основного вида транспорта и возможностью выполнения работ при непрерывном движении.

В глубоководной части океанов и на континентальном склоне используются преимущественно одиночные морские суда с высокой автономностью, оборудованные системами сбора и обработки данных комплекса геофизических методов на борту. При работе на шельфе можно использовать два или несколько судов (рис. 1).

В пределах судоходного мелководья работы могут проводиться как при движении, так и с остановками судна и укладкой сейсмической косы на дно. Мелководье можно исследовать с помощью плавсредств с малой осадкой, амфибийного транспорта, либо путём проведения наледных работ с применением наземного или авиационного транспорта (рис. 2).

Акватории, постоянно или большую часть времени закрытые дрейфующими льдами, исследуют с помощью судов ледового класса и методов авиадесантных сейсмозондирований.

Помимо методов и модификаций МОВ (метода отражённых волн), применяемых на суше, при морской сейсморазведке широко используется способ непрерывного сейсмического профилирования (НСП) (или центрального луча), отличающийся наблюдениями с малым постоянным расстоянием между источником и одноканальным приёмным устройством.

При работах МОВ на внутренних водоёмах применяют невзрывные источники.

Пневмокамеры соединяют с пультом управления и компрессором шлангом и кабелем, подвешивают к поплавкам и буксируют на капроновом фале за кормой судна на расстоянии 10-50 м. В условиях мелководья, когда глубина не превышает 5 м и резко колеблется, хорошие результаты получают группой из 8 камер с общим объёмом 20 л при давлении 12 МПа и заглублении источника на 1,3 м в сочетании с синхронным накоплением.

На спектр излучаемого источника влияют глубина его погружения, объём камер, давление сжатого воздуха в камере и параметры группирования

В процессе производственных работ соблюдают постоянство выбранных условий возбуждения. Глубину погружения источника поддерживают на оптимальном уровне с точностью $\pm 10\%$, так как на этом уровне достигается максимальное сосредоточение энергии в диапазоне частот полезных волн.

В речной сейсморазведке используют 48-канальные секционные бесшланговые (донные) и шланговые (маслонаполненные) пьезокосы. Шаг между каналами составляет 25-50 м. В условиях малых глубин пьезоприёмники имеют низкую чувствительность, поэтому применяют массовое группирование до (50 штук на канал).

При отсутствии пьезокосы используют речные боны, представляющие собой цепочку брёвен. Длина звена бона – 10 м. Условия приёма улучшаются, если боны спарены. Брёвна выбирают прямые, очищенные от коры и сучьев, диаметром 15-22 см в верхнем отрубе.

Косу от сеймоприёмника до сеймостанции изготавливают из кабеля со стойкой изоляцией, укладывают поверх звеньев бона и прикрепляют шпагатом. Провода, соединяющие сеймоприёмники в группы, должны быть зажгутованы в косу.

Автономные донные станции используют при работах как на МПВ, так и на ГСЗ. Их достоинствами являются возможность 3-компонентных измерений, большая глубинность исследований и высокое качество материала из-за отсутствия помех, возникающих при буксировке приёмных устройств и волнения моря.

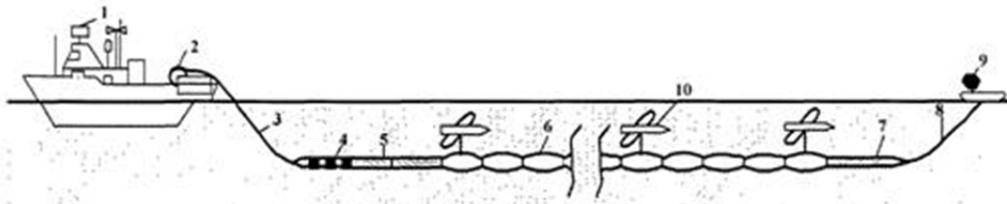


Рис. 1. Схема плавучей буксируемой сейсмической косы:

1 – научно-исследовательское судно; 2 – барабан для смотки и намотки косы; 3 – кабель-буксир; 4 – грузовая секция; 5 – бесприборные секции; 6 – рабочие приборные секции; 7 – концевая секция; 8 – концевой фал; 9 – буксируемый радар-отражатель; 10 – стабилизатор глубины



Рис. 2. Двухсудовая технология при работах на р. Вах в Западной Сибири. Размотка донной косы с борта малотоннажного судна

При проведении профилейных сейсмических исследований на реках с использованием маслonaполненной плавающей пьезокосы в воду пьезокосу погружают при помощи грузил и тралят судном-сейсмостанцией против течения реки. По сигналам от сейсмостанции с заданной периодичностью возбуждают колебания при помощи группы пневмоисточников, опущенных на выбранную глубину. Независимо от типа приёмной установки и сейсмоприёмников приём осуществляется группами.

При необходимости, если это позволяет ширина реки, применяют широкий профиль. В этом случае группы пневмоисточников относят в обе стороны от сеймокосы на расстояние обычно 100 м и осуществляют поочерёдное возбуждение и запись. Если позволяют условия, возбуждение выполняют и по линии приёмной установки.

При морских работах технологический процесс строят таким образом, чтобы обеспечить получение первичных записей высокого качества с высокой производительностью в различных сейсмогеологических, гидрогеологических и погодных условиях. До начала записей на малом ходу (2-3 узла) разматывают косу с лебёдки, выносят её и заглавливают, и также спускают, заглавливают и выносят источник возбуждения.

В зависимости от конструкции, рабочей скорости и погодных условий длина косы может меняться от 200 до 500 м. При проведении работ МОВ-ОГТ в глубоких осадочных бассейнах (толща воды 0,5-1,5 км) величину выноса берут до 100-1500 м. Сейсморазведку с одноканальными приёмными системами по способу НСП проводят на скоростях до 5-10 узлов, а с использованием многоканальных пьезокосы работы МОВ-ОГТ на скоростях 4-6 узлов.

Нередко нефтегазоносные структуры находятся частично в области суши, шельфа и могут уходить дальше в область глубоководного моря. В этих случаях приходится их изучать комплексом сухопутно-морских средств. При глубинах от 3 до 25 м применяют морскую технологию с использованием плавающих пьезокос. В области мелкого шельфа при глубинах от 0 до 3 м применяют плоскодонные суда, понтоны, мелкие катера с регистрацией волн на донных пьезокосах. В области суши продолжают технологию наземных работ*.

* Сейсморазведка: справочник геофизика. В двух книгах. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1990. Книга вторая / ред. В. П. Номоконов. 1990. 400 с.

СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА

КРЫЛЕВСКАЯ А. Н.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

В настоящее время в сейсморазведке используют три методики работ, построенные на получении информации об основных типах сейсмических волн, распространяющихся в верхней части разреза. Это метод отражённых волн (МОВ), метод преломленных (головных) волн (МПВ) и методы анализа поверхностных волн и других регулярных волн помех.

Метод отражённых волн для изучения малых глубин стал применяться сравнительно недавно. При МОВ используются те же методики и алгоритмы, что и в сейсморазведке при поисках нефти и газа. Этот подход рассматривается и в работе Г. Н. Боганика, В. П. Номоконова [1]. Работы проводились вдоль пятиэтажного дома, находившегося в аварийном состоянии. Целевые отражения регистрировались по системе однократного непрерывного непродольного профилирования. Наличие карстовой полости оценивалось по степени разрушения изображения отражающей границы. В работе И. А. Санфирова и А. Г. Ярославцева [2] также рассматривается получение изображения геологической среды методом отражённых волн. Площадь работ находится в зоне влияния горных работ калийного рудника. Наблюдения проводились по сети профилей в пределах жилой застройки частным сектором. Решалась задача оценки пределов распространения возможных разрушений по разрезу и по площади. Результаты сейсморазведочных работ представлены временным разрезом МОГТ и скоростной характеристикой разреза. Нарушения структуры геологического разреза прослеживаются как по волновой картине, так и по скоростной характеристике, представляющей распределение значений эффективных скоростей в плоскости временного разреза.

Недостатком способа является относительно малая кратность полевых работ, отсутствие учёта статических поправок и очень приблизительные сведения о скоростях волн в среде.

Метод преломленных волн (МПВ) является одним из эффективных способов изучения упругих и деформационных (прочностных) характеристик грунтов при инженерно-геологических изысканиях. Методом МПВ в инженерной сейсморазведке определяют глубину залегания коренных пород (мощности зоны выветривания) и их физические свойства. Прочностные свойства пород рассчитываются по значениям скоростей преломленных волн [4].

Существующие способы построения временных разрезов в МПВ [4] предназначены для работ, связанных с поисками нефти и газа на глубинах 0,5-3 км. Технология получения таких разрезов неприменима на малых глубинах. На рис. 1 приведен пример временного разреза МПВ, полученный этим способом [3].

Недостаток этого метода в том, что получаемый временной разрез в МПВ плохо согласуется с глубинным разрезом, что может привести к ошибкам в геологических выводах, а также в том, что, иногда могут не выделяться целевые волны и могут появиться фиктивные преломляющие границы [3].

На основании анализа выше сказанного можно сделать вывод, что в настоящее время многие вопросы построения цифровых изображений верхней части разреза геологической

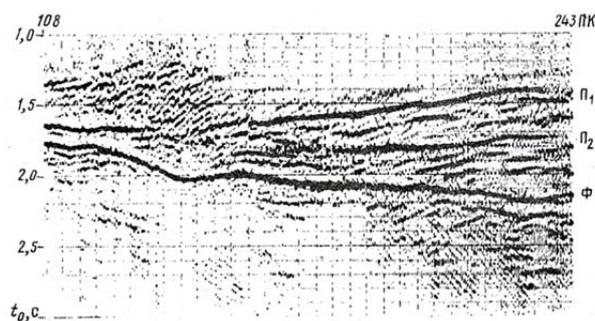


Рис. 1. Сводный временной разрез по профилю КМПВ, полученный по способу МПВ ОГП (по Монастырёву В. К., Ознобихину Ю. В., Голошубину Г. М., 1980) [3]

среды недостаточно проработаны. Существующие методы построения изображают по данным МПВ или МОВ имеют ряд недостатков. Поэтому автором были проведены исследования по изучению возможностей получения кинематических изображений разреза по сейсмограммам МПВ. Были рассмотрены различные одномерные и двумерные сейсмические модели среды. На рис. 2 изображена одна из наиболее интересных двумерных моделей с преломляющей границей, ниже которой в середине профиля имеется вертикальная граница, на которой наблюдается разрыв граничной скорости. Параметры модели таковы: $V1=200$ м/с, $V2=400$ м/с, $V3=800$ м/с, $h=10$ м. (мощность первого слоя), $Xg=60$ м (горизонтальная координата вертикальной границы). На рис. 3 изображены теоретические встречные годографы первых вступлений, рассчитанные для данной модели. Пункты взрывов расположены с шагом 10 м.

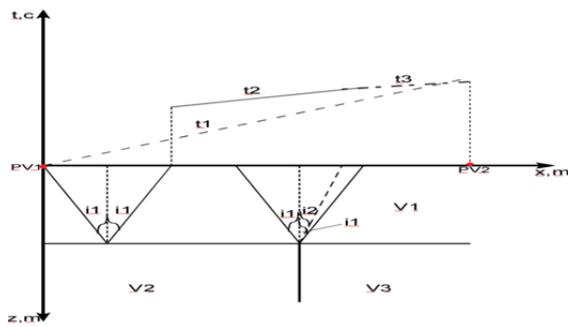


Рис. 2. Модель среды с вертикальной границей во втором слое

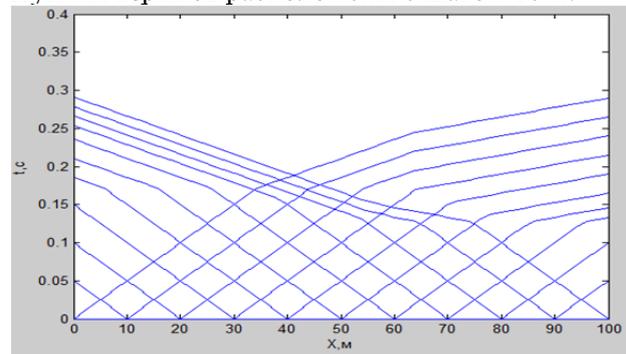


Рис. 3. Система встречных годографов первых вступления для модели на рис. 2

На рис. 4 показаны глубинные разрезы кинематических атрибутов. Глубина их отнесения в разрезе вычислялась по формуле $Z=k \cdot X$, где k – некоторый эмпирический коэффициент. Даже такие простые изображения кинематических атрибутов показывают наличие довольно сложного объекта в середине профиля на некоторой глубине.

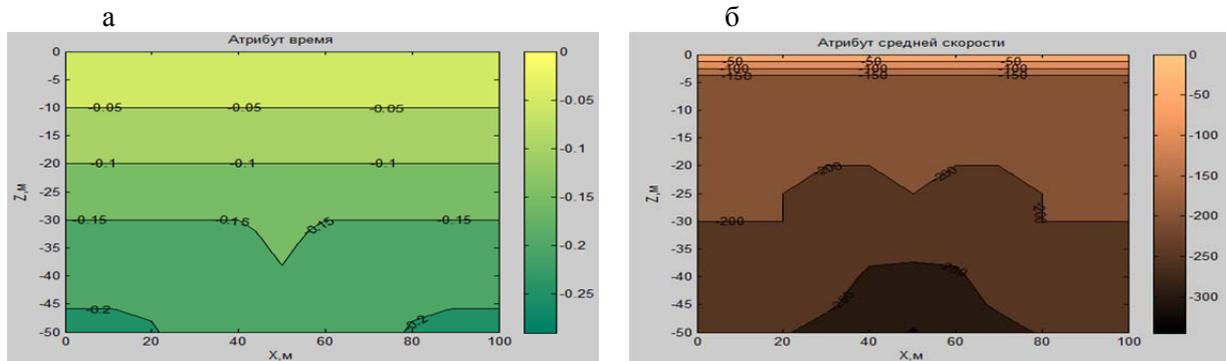


Рис. 4. Сейсмические изображения, полученные по системе годографов, показанных на рис. 3:

а – для атрибута «время»; *б* – для атрибута «средняя скорость»

Работа выполнена в рамках НИОКР «У.М.Н.И.К.».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боганик Г. Н., Номоконов В. П. Выявление карстовых образований высокоразрешающей сейсморазведкой МОВ // Геофизика. 1994. № 2. С. 52-53.
2. Санфиров И. А., Ярославцев А. Г. Опыт применения сейсморазведки ОГТ для решения инженерно-геологических задач // Геофизика. 2004. № 3. С. 27-30.
3. Старобинец А. Е., Старобинец М. Е. Цифровая обработка и интерпретация данных метода преломленных волн. М.: Недра, 2003.
4. Телегин А. Н. Сейсморазведка методом преломленных волн. СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 2004.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГОДОГРАФОВ ГОЛОВНЫХ ВОЛН ДЛЯ МОДЕЛИ СРЕДЫ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПРЕЛОМЛЯЮЩЕЙ ГРАНИЦЕЙ

КРЫЛЕВСКАЯ А. Н., КРЫЛАТКОВ С. М.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

В сейсмических исследованиях методом преломленных волн широко используются уравнения годографов головных волн для моделей с плоскими преломляющими границами [1]. В то же время точных аналитических решений для сейсмических моделей с криволинейными границами не получено. Рассматриваются лишь некоторые приближенные подходы [2, 3].

Авторами предлагаются два точных способа расчета годографов головных волн для модели среды с криволинейной преломляющей границей, один из которых пригоден в случае аналитического, а второй – для табличного задания границы*.

Рассмотрим двухмерную модель среды, которая состоит из однородного слоя, лежащего на полупространстве. Верхняя граница слоя – дневная поверхность. Нижняя его граница разделяет слой и полупространство и является преломляющей. Форма и положение границы заданы либо аналитически, уравнением $z(x)$, либо табличной последовательностью $\{x_i, z_i\}$. Значения скоростей в слое и полупространстве известны и равны V_1 и V_2 (причем $V_2 > V_1$). Источник сейсмических колебаний помещен в начало координат. Приемники располагаются на прямолинейном профиле, совпадающем с осью X в узлах равномерной сетки с известными координатами x_R . На преломляющей границе возникают головные волны, которые возвращаются на дневную поверхность. Требуется определить годограф головных волн. Лучевая схема для модели показана на рис. 1.

Алгоритм решения сводится к выполнению следующих операций.

1. Нахождение координаты точки A падения волны под критическим углом на преломляющую границу.
2. Выбор координаты точки B отрыва головной волны от границы и определение величины пути преломленной волны вдоль границы.
3. Нахождение координаты точки R выхода головной волны на дневную поверхность.
4. Интерполяция годографа, полученного по нерегулярной сетке, в узлы сетки $\{x_R\}$

Аналитический или табличный способ задания границы приведут к различным методам определения длины пути, пройденного волной вдоль преломляющей границы.

Рассмотрим подробнее названные выше первые три этапа решения.

Первый этап. Для заданного значения x (горизонтальной координаты точки падения волны на границу) и начального шага ее изменения dx выбираем из таблицы $\{x_i, z_i\}$ или рассчитываем по формуле значение глубины до границы $z(x)$, а также значение производной $q = dz/dx$. Находим тригонометрические функции критического угла $\sin i = V_1/V_2$ и $\cos i = \sqrt{1 - q^2}$, а затем $p = \tan i$. Далее определяем угловые коэффициенты нисходящего и восходящего лучей $k_1 = (-1 - p \cdot q)/(q - p)$, $k_2 = (-1 + p \cdot q)/(q + p)$ и координаты $x_1 = x - z(x)/k_1$ и $x_2 = x - z(x)/k_2$ (смысл этих параметров поясняется на рис. 2). После этого анализируем x_1 : если $x_1 < 0$, то увеличиваем, а если $x_1 > 0$, уменьшаем значение x на величину dx и итерационно находим такое x , чтобы $x_1 = 0$. Значение x дает искомую координату точки падения критического луча на границу. Назовем ее x_A .

* Работа выполнена в рамках НИОКР по теме «Разработка технологии построения цифровых сейсмических изображений геологического разреза при проведении инженерно-геологических изысканий» программы «У.М.Н.И.К.».

Второй этап. Задаем x_B – координату точки отрыва головной волны от границы. Она должна быть несколько больше координаты точки A . Теперь в точке B находим значение $z(x_B)$ и вычисляем значение производной dz/dx в этой точке, которое можно обозначить q_B .

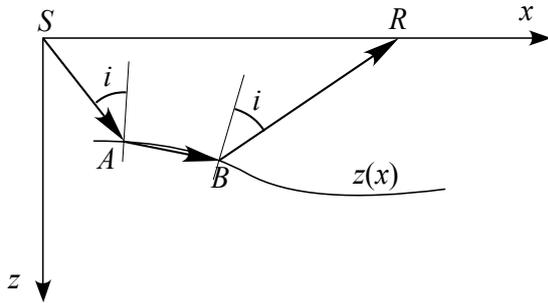


Рис. 1. Схема лучей падающей волны SA , преломленной волны AB и головной волны BR

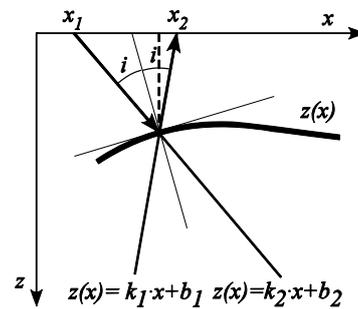


Рис. 2. Геометрический смысл параметров k_1 и k_2

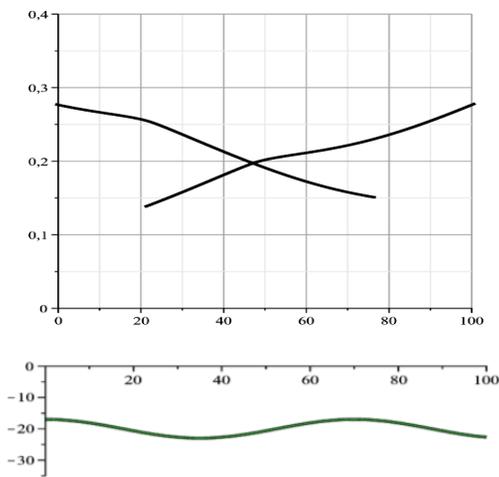


Рис. 3. Прямой и встречный годографы головных волн (верхний рисунок), рассчитанные по предлагаемой технологии для модели среды показанной ниже. База наблюдений составляет 100 м. Значения скоростей выше и ниже границы равны соответственно 300 и 600 м/с

На рис. 3 приведен вид модели среды, включающей одну криволинейную преломляющую границу и графики рассчитанных по описанному выше алгоритму прямого и встречного годографов головных волн для этой модели. Проведенные на разнообразных моделях расчеты годографов головных волн подтвердили высокую точность и достаточно хорошую производительность используемых процедур.

Дальнейшие исследования будут связаны с разработкой программных средств реализации этого алгоритма. На основе программ будет проведено опробование эффективности кинематических и динамических алгоритмов построения сейсмических изображений геологической среды в МПВ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сейсморазведка. Справочник геофизика. В 2-х книгах / Книга первая. М.: Недра, 1990. 336 с.
2. Телегин А. Н. Сейсморазведка методом преломленных волн. СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета. 2004.
3. Ocola L.C. A nonlinear least-squares method for seismic refraction mapping - Part I: Algorithm and procedure. Geophysics. 37. 1972. P. 260-272.

В случае если граница между точками A и B вогнута или выпукла, преломленная волна движется вдоль границы, поэтому мы в качестве пути ее используем длину дуги AB , которую определяем либо приближенно как сумму длин звеньев ломаной линии либо точно, вычисляя интеграл

$$l_{AB} = \int_{AB} ds = \int_{x=x_A}^{x=x_B} \sqrt{1 + z_x'^2(x)} \cdot dx.$$

Третий этап. По формулам $k_2 = (-1 + p \cdot q_B) / (q_B + p)$ и $x_2 = x_B - z(x_B) / k_2$ находим координату x_2 точки выхода луча на дневную поверхность. После этого находим время прихода головной волны в точку приема:

$$t(x_B) = \frac{\sqrt{x_A^2 + z(x_A)^2}}{V_1} + \frac{l_{AB}}{V_2} + \frac{\sqrt{(x_2 - x_B)^2 + z(x_B)^2}}{V_1}.$$

Далее повторяем этот путь для другой координаты x_B (этапы 2 и 3).

МЕТОД ВЕРТИКАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ

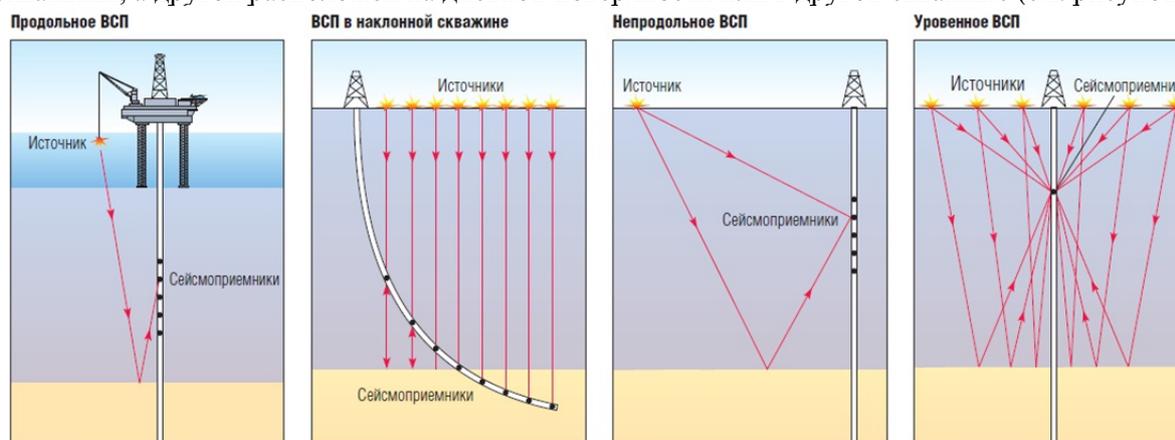
КРОХАЛЕВ А. Г.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Геофизикам важно найти способ для просмотра не только сформировавшегося сейсмического волнового поля, но и первых его частей – самого процесса его зарождения и развития. Необходимо было понять, как из сравнительно простого импульса в источнике образуется сложное волновое поле, видимое на обычных сейсмограммах, какие неоднородности среды и какие типы волн сыграли тут решающую роль.

Поскольку наблюдаемое на дневной поверхности волновое поле – это суммарная реакция среды, понадобился метод его расчленения и оценки влияния отдельных неоднородностей. Таким методом стало вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) [1].

ВСП – метод скважинных, межскважинных и околоскважинных исследований, когда один из двух элементов, источник или приемник упругих колебаний, движется по стволу скважины, а другой расположен на дневной поверхности или в другой скважине (см. рисунок).



Схемы систем наблюдений в различных методиках ВСП

Основные нефтепромысловые задачи, решаемые методом ВСП на этапе разведки и разработки нефтегазовых месторождений: детальное изучение состава и структуры регистрируемого волнового поля в различных геологических средах; определение скоростей продольных и поперечных волн; стратиграфическая привязка продольных, поперечных и обменных волн и их отождествление с одноименными границами отражения – обмена; изучение поглощающих и отражающих свойств разреза; прогноз акустической жесткости и скоростей сейсмических волн ниже забоя скважины; детальное исследование структурных планов в окрестности наблюдаемой скважины, трассирование тектонических нарушений; корреляция отражающих границ при групповом и кустовом бурении, изучение и расчленение тонкослоистых разрезов; выделение зон повышенной трещиноватости и улучшенных коллекторских свойств; прогнозирование геологического разреза в околоскважинном пространстве и ниже забоя скважины с целью определения нефтегазонасыщенности пород, контуров нефтегазовых залежей; контроль за разработкой месторождения в процессе эксплуатации [2].

Линия наблюдения, то есть скважина, пересекает границы неоднородностей, что позволяет изучить волны в непосредственной близости от каждой границы, выделяя из всей совокупности волн именно те, которые образовались в данном слое (здесь они менее всего искажены наложением других волн). Оказалось возможным произвести стратиграфическую привязку волн, то есть приписать им геологический возраст слоев, где данные волны

образовались. При таких наблюдениях можно оценить влияние на волновое поле самой неоднородной верхней части разреза, примыкающей к дневной поверхности. А ведь именно на дневной поверхности образуется много различного рода волн-помех, и она, как правило, определяет характер сейсмограмм.

Чем же отличается волновое поле во внутренних точках среды от поля на поверхности Земли? Волновое поле при наблюдении в скважинах сложнее, чем на дневной поверхности. Дело в том, что при наземных наблюдениях все неоднородности разреза оказываются под точкой наблюдения (сейсмоприемником), и все волны подходят к сейсмоприемникам только снизу, а при наблюдениях в скважинах границы находятся как под, так и над сейсмоприемником.

Поэтому в скважинах регистрируются также волны, претерпевшие отражение от дневной поверхности и границ, расположенных выше сейсмоприемника и распространяющиеся сверху вглубь среды.

Напомним, что сейсмические волны, возникающие в источнике, распространяются во всех направлениях с определенной скоростью, присущей данной среде. Этот процесс может характеризоваться двумя группами величин, связанных, во-первых, с колебанием отдельной частицы среды при прохождении волны через точку наблюдения (траектория движения частицы) и, во-вторых, с распространением волны (скорость пробега и направление). Вертикальное сейсмическое профилирование открыло новые возможности в изучении обеих групп параметров.

При прохождении через точку наблюдения волн разных типов продольных, поперечных, поверхностных — частицы среды колеблются по-разному. Продольные волны заставляют частицы двигаться вдоль луча, поперечные — перпендикулярно к нему. Если подходят сложные волны, образованные наложением простых, то частицы движутся по сложным траекториям — плоским (окружности, эллипсы) или пространственным. Эти траектории можно использовать для определения природы волн и, в частности, для выделения на сейсмограммах простых или сложных волн, а также для выбора в каждой точке наблюдения такой составляющей колебания (ориентировки сейсмоприемника), при которой данная волна регистрируется наилучшим образом. Кроме того, движение частиц сильно зависит от неоднородностей среды, и при наблюдениях в скважинах они могут быть источником информации о разрезе. Попытки использовать траектории движения частиц при наземных наблюдениях во многих случаях оказались неудачными из-за искажающего влияния дневной поверхности и верхней части разреза. Искажение бывает так велико, что направления движения частиц не соответствуют направлениям распространения волн.

По сравнению с наземной сейморазведкой (2D/3D), метод вертикального сейсмического профилирования обладает следующими преимуществами:

- практически полностью устранено влияние на сейсмограмму поверхностных волн, так как сейсмоприемники обычно расположены ниже области их регистрации;
- первые вступления на сейсмограмме дают первое приближение истинной кинематической модели среды;
- возможность точной увязки данных ГИС с данными наземной сейморазведки;
- сигнал от возбуждения наблюдается в среде, а не на поверхности, что позволяет оценить и учесть его форму, что раскрывает дальнейшее развитие метода совместно с наземной сейморазведкой (2D/3D) в сторону совместных систем наблюдения 2D/3D+ВСП.

К недостаткам метода следует отнести: необходимость дорогостоящего бурения скважины; ограниченность изучаемого пространства околоскважинной областью; несимметричность системы наблюдения (приемники расположены в скважине, источники возбуждения — на поверхности), усложняющая анализ и обработку сейсмограмм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гальперин Е. И. Вертикальное сейсмическое профилирование. М.: Наука. 1994.
2. Мирзоян Ю. Д. Исследование и развитие поляризационного метода ВСП на акваториях: дис. ... д-ра техн. наук. Краснодар, 2010. 105 с.

ВЗРЫВНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН*КАЛИННИКОВ Д. В.*

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

При сейсморазведочных работах используют различные взрывчатые вещества (ВВ), выбор которых зависит от условий проведения работ и характера решаемых задач. Главное преимущество ВВ состоит в их способности развивать большие мощности, что позволяет возбуждать короткий первичный сейсмический импульс, обогащенный высокочастотными компонентами. Их подразделяют на гранулированные бризантные и промышленные ВВ.

Гранулированные бризантные ВВ – дешевые, отличаются низкой чувствительностью к механическим воздействиям (это позволяет механизировать транспортные и зарядные операции) и надежно детонируют от промежуточного детонатора.

В связи с развитием способов шпурового возбуждения особую актуальность приобрели аммиачно-селитровые ВВ, в частности, аммониты-механические смеси, в состав которых входит аммоний, называют аммоналами.

Промышленные ВВ обладают способностью взрываться через влияние (детонация на расстоянии). При этом заряд называется активным, получает начальный импульс от капсуля детонатора или электродетонатора и, взрываясь, оказывает влияние на смежные заряды, называемые пассивными. Благоприятной средой для передачи детонации является воздух, менее благоприятными – вода, глина, песок.

Взрыв бризантного ВВ представляет быстрое физическое или химическое превращение вещества, при котором его энергия быстро переходит в энергию сжатия, а затем движения самого вещества (или продуктов его превращения) и окружающей среды.

Возбуждаемое начальным импульсом взрывчатое превращение распространяется по заряду и образует волну детонации, скорость распространения которой характерна для данного ВВ.

Существуют свои особенности при возбуждении продольных волн в различных типах сред. При взрыве в воздухе сферического заряда ВВ продукты взрыва движутся вслед за ударной волной и отрываются от нее на расстоянии 10-14 радиусов заряда r_0 . Стабильность условий возбуждения при воздушных взрывах выше, чем при взрывах в скважинах. Однако для получения при воздушном взрыве такого же сейсмического эффекта, как при взрыве в скважинах, требуется в 14-25 раз больше ВВ. При этом возникают интенсивные помехи, связанные со звуковой волной, в связи с чем приходится удалять пункт взрыва от сейсмоприемников на расстояние, определяемое временем вступления целевой отраженной волны [1].

При взрыве заряда в водной среде образуется пузырь из нагретых и сжатых до высокого давления газов. Вследствие расширения пузыря в воде возникает ударная волна, параметры и характер распространения которой зависят от свойств среды. После взрыва наблюдается пульсация газового пузыря, приводящая к возникновению помех, регистрирующихся на сейсмограмме. Наиболее эффективный и целесообразный метод подавления влияния пульсации газового пузыря – группирование источников с разными периодами пульсации [2].

Наиболее распространенный способ возбуждения сейсмических волн – это взрывы в грунтах, осуществляемые в шурфах или скважинах. Основная часть энергии необратимо расходуется на разрушение частиц грунта и преодоления сил трения. В результате образуются три зоны: зона вытеснения грунта под действием продуктов взрыва с образованием полости, называемой котлом или каверной; зона разрушения, в которой грунт уплотнен и структура его нарушена (зона пластических деформаций при взрыве в мягких пористых грунтах); зона сотрясения или упругая зона (рис. 1, 2).

Для эффективного возбуждения поперечных волн необходимы направленные горизонтальные силы, вызывающие деформацию сдвига в очаге. Практически реализация взрывных источников горизонтальной силы основана на двух принципах:

- 1) горизонтально направленном воздействии на среду;
- 2) создании резкой искусственной неоднородности в среде непосредственно у источника.



Рис. 1. Взрывной источник в неглубокой скважине



Рис. 2. Шнековая установка для бурения взрывных скважин

Разработан ряд способов возбуждения, основанных на этих двух принципах. Это механические устройства, создающие горизонтальный удар непосредственно по грунту или через специальную подставку, либо взрывные источники – траншейные, щелевые, барьерные и т. д., при осуществлении которых решающая роль принадлежит искусственно создаваемым полостям в грунте.

Из ударно-механических источников наиболее распространены устройства маятникового типа, когда груз массой до 1,5-3,0 т на мягкой или легкой жесткой подвеске совершает движение по дуговой траектории с высоты 1,5-3,5 м и производит горизонтальный удар (при скорости груза до 10-12 м/с) либо на вертикальную стенку предварительно подготовленного уступа в грунте, либо на специальную подставку (платформу), прижатую к среде весом автомашины, на которой смонтировано устройство. В любом случае усилие прикладывают перпендикулярно к линии профиля, т. е. Y -воздействия и возбуждают тем самым волны SH .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондарев В. И. Сейсморазведка: учебник для вузов. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007.
2. Сейсморазведка. Справочник геофизика / Под ред. И. И. Гурвича, В. П. Номоконова. М.: Недра, 1981.

ВОЗБУЖДЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ИМПУЛЬСНЫМИ НЕВЗРЫВНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

КАЛАШНИКОВ М. Ю.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Разработанная и примененная при создании серии сейсмических источников «Енисей» конструктивная схема с использованием электромагнитного привода позволила наилучшим, по сравнению с известными техническими решениями, образом удовлетворить совокупность предъявляемых к источнику требований. Это достигнуто за счет простого конструктивного решения сейсмоисточника, высокого коэффициента преобразования потребляемой сейсмоисточником энергии в механическую, реализации более согласованного с акустической нагрузкой режима механического воздействия на излучающую плиту и обеспечения возможности групповой работы сейсмоисточников.

На рис. 1, *a* приведена упрощенная конструктивная схема источников «Енисей» и характер изменения скорости и перемещения плиты, якоря электромагнита и инерционной массы-пригруза при работе сейсмоисточника. При пропускании тока по обмотке возбуждения 5 от импульсной схемы силового питания через зазор δ_0 между магнитопроводом 6 якоря и полюсами магнитопровода 4 индуктора-пригруза электромагнита проходит магнитный поток Φ , и между якорем и индуктором создается сила $P(t)$, которую можно принять постоянной по величине.

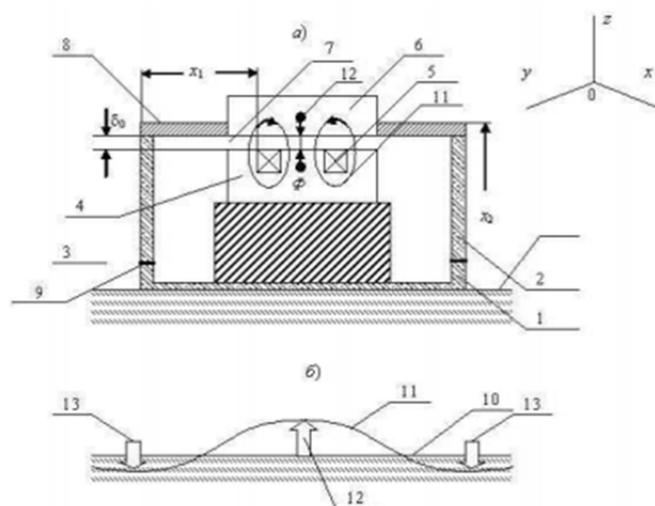


Рис. 1. Конструктивная схема импульсного невзрывного источника «Енисей» и эпюра действующих сил

В исходном положении, до подачи импульса тока на индуктор 4, поверхность грунта 10 придавлена опорной плитой 1, стойками 2 и пригрузом 3. При подаче импульса тока на обмотку индуктора 4 последний начинает движение вверх по координате z , освобождая опорную плиту 1 от веса пригруза 3. Сила притяжения индуктора через якорь 6, раму якоря 8, стойки 2 и демпферы 9 передается на края опорной плиты 1. В результате поверхность грунта под опорной плитой принимает волновую форму 11, а приложенный к индуктору импульс силы сглаживается элементами конструкции генератора, в частности демпферами 9. В этом случае деформация грунта всегда отстает по времени от фронта нарастания силового воздействия индуктора и связь силы давления на грунт σ с его деформацией подчиняется закону Гука: $\sigma = E\epsilon$, где E — модуль Юнга, ϵ — деформация грунта

В состав электромагнитного привода (рис. 2), обеспечивающего создание на плиту силы $P(t)$, входит короткоходовой электромагнит, схема возбуждения его магнитного поля,

содержащая емкостной накопитель энергии C , силовые полупроводниковые приборы VS и VD и зарядное устройство ЗУ для заряда емкостного накопителя от автономного источника питания ИП.

Зарядное устройство должно обеспечивать эффективный заряд емкостного накопителя с необходимым уровнем стабилизации напряжения.

Разработанный для применения в сейсмическом источнике электромагнит выполнен с ш-образным магнитопроводом, набранным из листов низкоуглеродистой электротехнической стали с высоким уровнем индукции насыщения B_s . Плоская конфигурация зазора электромагнита обеспечивает создание в нем однородного магнитного поля и наибольшего значения силы с высоким коэффициентом преобразования накопленной в объеме зазора магнитной энергии в механическую. Развиваемая сила P определяется формулой Максвелла $P(t) = B^2 S / 2\mu_0$

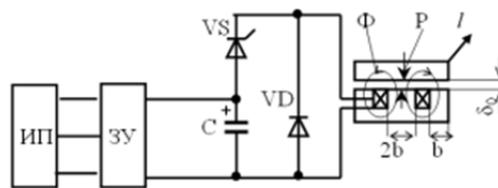


Рис. 2. Электромагнитный привод

В таблице приведены основные технические характеристики изготавливаемых в ОАО «Енисейгеофизика» санных вариантов сейсмоисточников, силовые параметры и конструктивные особенности которых определяются количеством применяемых электромагнитов с номинальным значением создаваемого усилия $25 - 10^2$ Н.

Основные характеристики импульсных источников

№	Наименование показателя	СЭМ-20	СЭМ-50	СЭМ-100
1	Максимальное значение силы, прикладываемой к плите-излучателю, кН	200	500	1000
2	Количество электромагнитов, шт.	1	2	4
3	Длительность приложения силы к плите-излучателю, с	0,005	0,005	0,005
4	Активная масса излучателя, кг	490	710	1040
5	Реактивная масса излучателя, кг	800	1270	2280
6	Вес сейсмоисточника (без транспортного средства), кг	1600	4600	6640
7	Напряжение заряда емкостного накопителя, В	850	850	850

В последних разработках санных сейсмоисточников (СЭМ-150 и СЭМ-180) применены электромагниты с большим значением силы. На автомобильной транспортной базе разработаны сейсмоисточники КЭМ-4 и КЭМ-2-130, развивающие силу на излучающие плиты до (1000-1300) кН. Для проведения сейсморазведочных работ на акваториях разработан водный вариант сейсмоисточника «Енисей ВЭМ-100К», выполненный в виде катамарана, на поплавок которого действует сила 1000 кН, создаваемая четырьмя электромагнитами (аналог наземного сейсмоисточника «Енисей СЭМ-100»). Сегодня уже заключены ряд соглашений с зарубежными странами (США, Франция, Иран, Индия) на поставку этих источников.

Выводы. Заложенный в основу конструкции импульсных невзрывных источников сейсмических волн обратного действия принцип действия механической массы пригруза относительно поверхности среды за счет отставания во времени силы действия на грунт относительно динамических сил разрушения постылающей поверхности позволил реализовать принципиально новую, не разрушающую грунт технологию сейсморазведки, реализуемую как в наземном, так и в водном вариантах. При этом система, обеспечивая высокоточную управляемость по времени производства удара, обладает высокой информационной и технико-экономической эффективностью, вызывающей заинтересованность зарубежных геофизических фирм в поставке подобного оборудования

СЕЙСМИЧЕСКИЙ ЛОКАТОР БОКОВОГО ОБЗОРА

ЖУКОВ А. П.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Сейсмический локатор бокового обзора (СЛБО) – принципиально новая сейсморазведочная технология, созданная в России, которая не имеет аналогов в мировой практике сейсморазведки по геологической, технологической и экономической эффективности изучения пространственного (2D и 3D) и пространственно-временного (4D) распределения открытой трещиноватости геологической среды [1, 2].

СЛБО отличается от других методов сейсморазведки:

- Физической основой – для изучения поля трещиноватости используются сейсмические рассеянные волны.

- Технологией наблюдения – используется 2-х позиционный локатор, который располагается за пределами исследуемого участка для реализации бокового обзора, применяемого в радиолокации и гидроакустике (рис. 1).

- Обработкой материалов – выделение рассеянных волн в каждой точке геологической среды осуществляется по лучевой схеме фокусирования апертур излучения и приема с синфазным накоплением ~104 сейсмических сигналов.

- Геологической интерпретацией – используются зависимости между энергией рассеянной волны и интенсивностью открытой трещиноватости в геологической среде в объеме 1-й зоны Френеля; распределением трещиноватости и напряженно-деформированным состоянием геологической среды (тектонофизические модели).

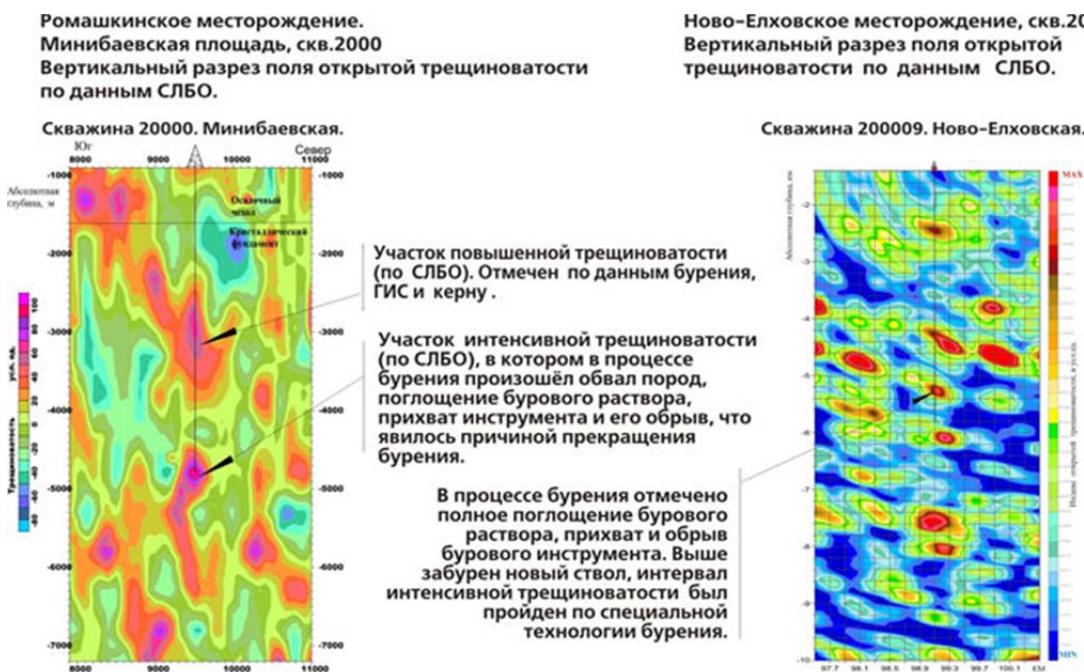


Рис. 1. Прогноз осложнения бурения глубоких скважин

Примеры проведения СЛБО для решения различного рода задач:

1. Осложнения бурения скважин в интервалах аномально высокой трещиноватости в толще кристаллического фундамента (рис. 2).

2. Оценка целесообразности проведения гидроразрыва пласта. По данным СЛБО было отмечено, что в непосредственной близости от скв. 560 (с притоком нефти ~2 т/сут) находится

зона аномально высокой открытой трещиноватости. На основе этой информации в скв. 560 выполнен гидроразрыв пласта, который «связал» эту скважину с зоной интенсивной трещиноватости. В результате получен высокий приток нефти ~80 т/сут [3, 4].

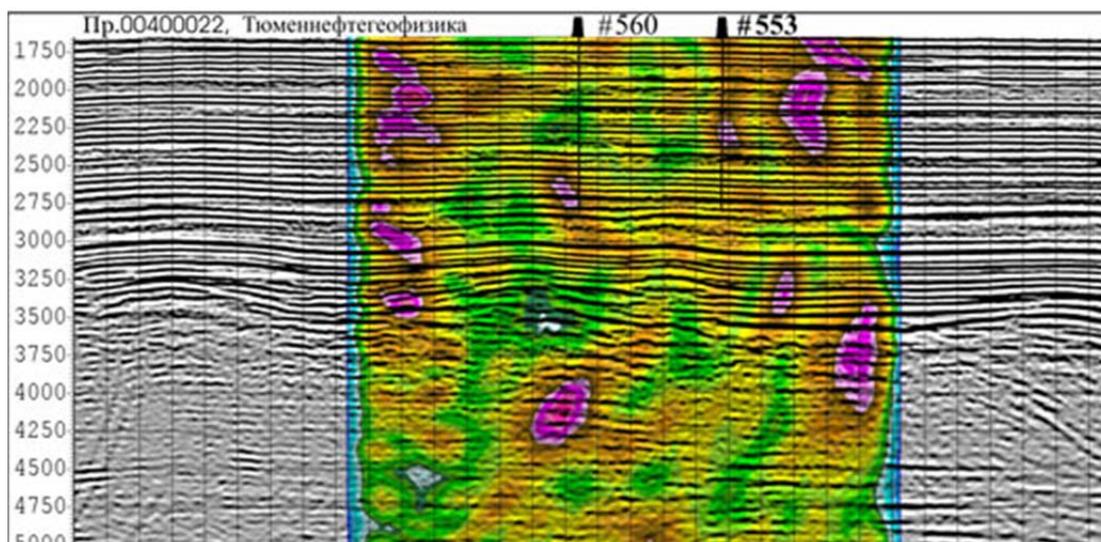


Рис. 2. Совмещенный разрез по данным МОГТ и СЛБО

Для реализации синфазного накопления сигналов рассеянной волны используют разработанное С. И. Шленкиным фокусирующее преобразование сейсмического волнового поля, которое позволяет в регистрируемом сейсмическом поле выделить рассеянные волны, определить их энергию и место возникновения. На этой осуществляют сканирующий обзор нижнего полупространства и получают объемную матрицу значений энергии рассеянной волны, отождествляемую 3D-полем индекса открытой трещиноватости геологической среды.

Многочисленные проведенные работы убедительно доказали эффективность технологии СЛБО применительно к решению геологических задач при разведке новых и уже разрабатываемых нефтяных месторождениях. В ходе выполнения этих работ были получены такие принципиально важные результаты как:

- зависимость величины притока нефти от интенсивности трещиноватости коллектора;
- наличие зон аномально высокой трещиноватости в местах, где были отмечены осложнения и аварийно опасные ситуации в процессе бурения сверхглубоких скважин;
- оценка оптимального направления бурения горизонтальных стволов скважин по данным обобщения материалов СЛБО по нескольким площадям;
- данные мониторинга перемещения фронта вытеснения нефти при циклическом заводнении;
- данные об изменении поля трещиноватости в коллекторе при длительном сейсмоакустическом воздействии из скважины и т. д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондарев В. И. Сейсморазведка: учебник для вузов. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007.
2. <http://www.geosys.ru/index.php/ru/slbo> (дата обращения: 23.03.2012).
3. http://geoimpuls.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=87 (дата обращения 23.03.2012).
4. <http://www.innt-ltd.ru/index.php?l0=30&l1=2&l2=1&l3=0> (дата обращения 23.03.2012).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

ДЕГТЯРЁВА М. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Главными задачами сейсморазведки при существующем уровне аппаратуры являются: повышение разрешающей способности метода и возможность прогнозирования литологического состава среды.

В последние 3 десятилетия в мире создана мощнейшая индустрия сейсморазведки нефтяных и газовых месторождений, основой которой является метод общей глубинной точки (МОГТ). Однако по мере совершенствования и развития технологии МОГТ все более отчетливо проявляется неприемлемость этого метода для решения детальных структурных задач и прогнозирования состава среды. Причинами такого положения является высокая интегральность получаемых (результативных) данных (разрезов), некорректное и, как следствие, неправильное в большинстве случаев определение эффективных и средних скоростей.

Внедрение сейсморазведки в сложно-построенных средах рудных и нефтяных районов требует принципиально нового подхода, особенно на этапе машинной обработки и интерпретации. Среди новых развивающихся направлений к одному из наиболее перспективных следует отнести идею управляемого локального анализа кинематических и динамических характеристик сейсмического волнового поля. На ее основе и ведется разработка методики дифференциальной обработки материалов сложно-построенных сред. Основой метода дифференциальной сейсморазведки (МДС) являются локальные преобразования исходных сейсмических данных на малых базах — дифференциальные по отношению к интегральным преобразованиям в МОГТ. Использование малых баз, приводящее к более точному описанию кривой годографа, с одной стороны, селекция волн по направлению прихода, позволяющая обрабатывать сложно-интерферирующие волновые поля, с другой стороны, создают предпосылки использования дифференциального метода в сложных сейсмогеологических условиях, повышают его разрешенность и точность структурных построений. Важным достоинством МДС является высокая параметрическая оснащенность, позволяющая получать петрофизические характеристики разреза — основы для определения вещественного состава среды.

Широкое апробирование в различных регионах России показало, что МДС существенно превышает возможности МОГТ и является альтернативой последнему при исследованиях сложнопостроенных сред.

Специальная обработка на ЭВМ позволяет получать серию параметрических разрезов (карт параметров). Каждая параметрическая карта характеризует определенные физические свойства среды. Синтез параметров служит основой для формирования «образа» нефтяного (газового) объекта. Результатом комплексной интерпретации является физико-геологическая модель среды с прогнозом на залежи углеводородов.

На этапе поисково-разведочных работ МДС является неотъемлемой частью геологоразведочного процесса, как при структурном картировании, так и на стадии вещественного прогнозирования. На рис. 1 показан фрагмент Геосейсмической модели Печенгской структуры. Базисом ГСМ являются сейсмические материалы Международных экспериментов KOLA-SD и 1-EB в районе Кольской сверхглубокой скважины СГ-3 и данные поисково-разведочных работ. Стереометрическое сочетание геологической поверхности и глубинных структурных (S) разрезов МДС в реальных геологических масштабах позволяет получить правильное представление о пространственной структуре Печенгского синклинория.

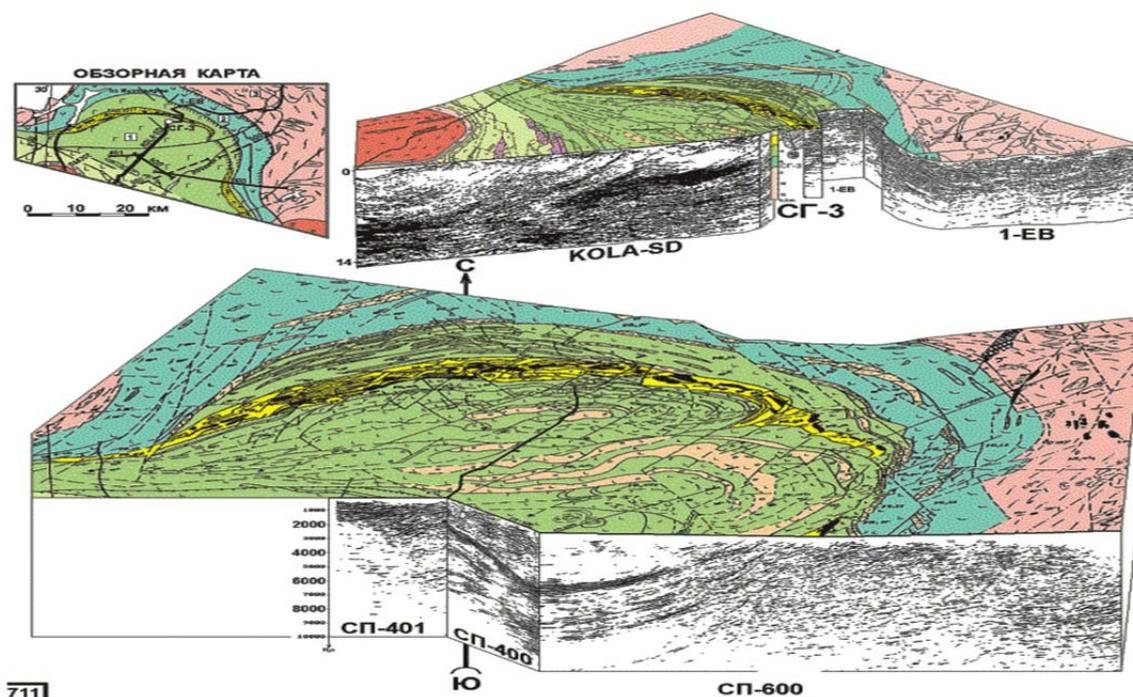


Рис. 1. Геосейсмическая модель Печенгской структуры, Кольский полуостров

Основные рудовмещающие комплексы представлены терригенными и туфогенными породами; их границы с окружающими базитами являются сильными сейсмическими границами, что обеспечивает надежное картирование рудоносных горизонтов в глубинной части Печенгской структуры. Полученный сейсмический каркас используется в качестве структурной основы Физико-Геологической модели Печенгского рудного района.

При проведении региональных и поисково-разведочных работ МОГТ не всегда возможно получить данные о строении приповерхностной части разреза, что затрудняет привязку материалов геологического картирования к материалам глубинной сейморазведки. В такой ситуации целесообразно применение профилирования МПВ в варианте ОГП, либо обработка имеющихся материалов МОГТ по специальной технологии МПВ–ОГП. На рис. 2 приведен пример совмещения данных МПВ и МОГТ по одному из сейморазведочных профилей МОГТ, отработанному в Центральной Карелии. Полученные материалы позволили увязать глубинную структуру с геологической картой и уточнить местоположение раннепротерозойских палеовпадин, перспективных на рудные месторождения различных полезных ископаемых.

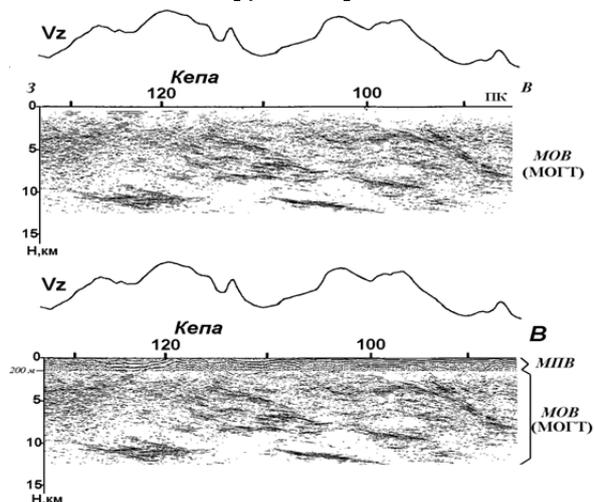


Рис. 2. Комплексирование данных МОГТ и МПВ, Карелия

КОРРЕКЦИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПОПРАВОК

ЕРУХИН И. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Методика расчета и коррекция кинематических поправок являются наиболее разработанной процедурой цифровой обработки. Это связано с особой важностью данной процедуры при накоплении по ОГТ.

Ввод кинематических поправок в сейсмограммы ОГТ осуществляют с целью трансформации осей синфазности однократно отраженных волн в линии двойного времени пробега волны по лучу, нормальному к границе раздела.

Выражение, определяющее кинематическую поправку:

$$\tau_x(t_0, x) = \sqrt{t_0^2 + \frac{x^2 \cos^2 \varphi}{v_{\text{эф}}^2(t_0)}} - t_0 = \sqrt{t_0^2 + \frac{x^2}{v_{\text{ОГТ}}^2(t_0)}} - t_0,$$

где t_0 – двойное время пробега волны, $v_{\text{эф}}$ – эффективная скорость, $v_{\text{ОГТ}} = \frac{v_{\text{эф}}}{\cos \varphi}$ – фактическая скорость.

Процедура ввода кинематических поправок решающим образом влияет на качество суммирования и, следовательно, на качество получаемых временных разрезов. Априорная информация о разрезе, необходимая для введения кинематических поправок, всегда известна лишь приближенно. Поэтому на последующих этапах обработки возникает необходимость проведения коррекции вводимых кинематических поправок.

Скорректированные кинематические поправки $\tau_x(t_0, x)$ определяют на основе разновременного анализа сейсмограммы ОГТ по вееру гипербол или парабол, пересекающихся на трассе с абсциссой $x=0$ [1, 2].

Различные рабочие алгоритмы, различающихся использованием более помехоустойчивых, нежели простое суммирование, операторов разновременного криволинейного анализа. С целью минимизации времени счета криволинейный анализ выполняют не непрерывно по времени, как это делают при получении суммоленты, а в дискретных точках t_0 (вертикальные спектры) с шагом обычно через 25-100 мс, либо на фиксированных для каждой сейсмограммы ОГТ временах t_0 , соответствующих линии $t_0(x)$ горизонта на временном разрезе. Вместе с тем, все разновидности способов определения скорректированных кинематических поправок основаны на разновременном анализе по вееру гипербол или парабол.

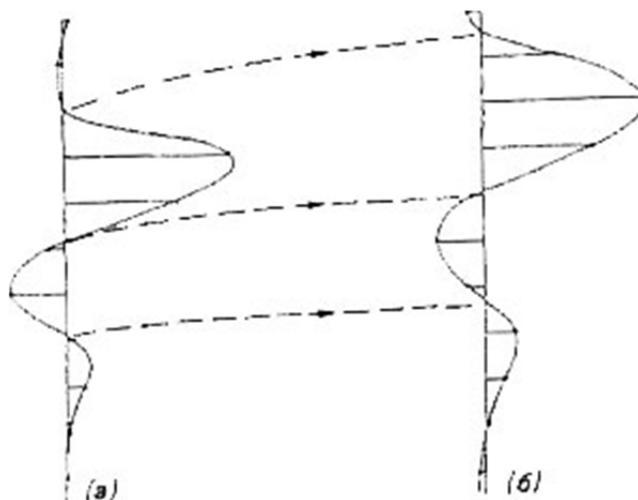
Применение более сложных, нежели обычное суммирование, операторов приводит к более сложным преобразованиям отсчетных амплитуд, совпадающих с тем или иным гиперболическим направлением. Это делают для того, чтобы в условиях, когда возможен амплитудный и фазовый разброс сигналов, осложненных взаимной интерференцией регулярных волн, не формировались ложные максимумы разрастаний.

В практике обработки применяют несколько способов разновременного анализа, в каждом из которых можно использовать тот или иной оператор максимизации с целью поиска кинематической поправки. Различие в способах определяется характером используемой сейсмической записи (введены или не введены исходные кинематические поправки), варьируемыми параметрами и объемом одновременно преобразуемой информации [3].

Нежелательный побочный эффект ввода кинематических поправок проявляется в растяжении сейсмического сигнала (см. рисунок). В результате ввода этих поправок все дельта-импульсы, соответствующие коэффициентам отражения, должны сдвинуться на свои правильные времена для нулевого удаления. Вообще говоря, величина требуемого сдвига непрерывно меняется от отсчета к отсчету вдоль трассы в соответствии с формулой расчета кинематической поправки. На реальных трассах вместо дельта-импульсов присутствуют сейсмические волновые импульсы, в отсчеты которых при вводе кинематических поправок

вносятся разные временные сдвиги. Этот эффект становится ярко выраженным при большой скорости изменения кинематической поправки и обычно проявляется на больших удалениях и малых временах, а величина самой поправки здесь роли не играет. Локальные зоны растяжения наблюдаются иногда и на больших временах при резком скачке скорости.

Кинематические поправки нельзя округлять до целого числа отсчетов, не рискуя недопустимо исказить форму импульса, т. е. здесь необходима интерполяция. Важную роль играет качество интерполяции, особенно на тех участках, где ввод кинематических поправок приводит к сильному растяжению импульсов. На рисунке показано, как может измениться форма импульса при вводе неточных кинематических поправок.



Искажение сигнала при вводе кинематических поправок — фрагмент трассы до (а) и после (б) ввода поправок

При работах в условиях сложного геологического строения разреза в последнее время все больше стали применять двухмерные скоростные характеристики. Это приводит к соответствующему усложнению и технологии коррекции кинематических поправок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сейсморазведка. Справочник геофизика / Под ред. И. И. Гурвича, В. П. Номоконова. М.: Недра, 1981.
2. Сейсморазведка: учеб. пособие / Гайнанов В. Г. М.: Изд-во МГУ, 2005.
3. Анализ данных сейсморазведки: учеб. пособие / Бондарев В. И., Крылатков С. М. Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2002.

РАСПОЗНАНИЕ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ВОЛН ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

ДАВЫДОВ И. О.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Распознавание отраженных, преломленных и дифрагированных волн. Отраженные волны выделяются в последующих вступлениях. Их обычно коррелируют по экспоненциальным фазам, определяя при необходимости момент вступления путем ввода поправки за фазу (рис. 1).

Преломленные волны вступают на некотором расстоянии от источника. Их прослеживают преимущественно в первых вступлениях. Форма осей синфазности и годографов близка к прямолинейной (рис. 2).

Рефрагированная волна имеет обычно выпуклую в сторону возрастания времени форму. Нагоняющие годографы сближаются с расстоянием от источника.

Для распознавания этих волн в областях их совместной регистрации используют следующие признаки.

1) Различия в формах годографов и их наклонах. Кажущаяся скорость отраженных волн больше, чем преломленных, а преломленных меньше, чем рефрагированных.

2) Соотношения нагоняющих годографов. Для преломленных волн годографы параллельны, для рефрагированных – сходятся, для отраженных – расходятся с удалением от источника.

3) Форма и положение границ раздела на разрезе по форме годографа преломленной или рефрагированной волны, образованный в среде с горизонтальными границами.

4) Соотношение значений эффективной скорости для волн с одинаковыми временами прохода.

5) Более сильное затухание преломленных волн с удалением от источника.

Распознавание дифрагированных и боковых волн. Эти виды волн обычно отмечаются в условиях поверхностных либо глубинных неоднородностей. Их распознают по аномально большим значениям кривизны и наклона осей синфазности, заниженным значениям эффективной скорости, аномально быстрому затуханию и слабой интенсивности, возможной инверсии фаз в области минимума годографа.

Распознавание обменных волн. Интенсивные обменные волны возникают в условиях сильной скоростной дифференциации. Они имеют большие времена прихода, чем соответствующие продольные волны, и характеризуются следующими особенностями:

1) Более сильной, чем для продольных волн, зависимостью формы записи и интенсивности от условий установки сейсмоприемников

2) Обращением фазы на встречных системах и по разные стороны от источника в случае неизменной ориентировки горизонтальных приемников.

3) Несовпадением времени прихода волн во взаимных точках из-за не горизонтальности границ раздела и изменчивости скоростей V_p и V_s .

4) Отсутствием или слабой интенсивностью отраженной волны вблизи источника и возрастанием интенсивности с удалением до расстояний, часто превышающих критические

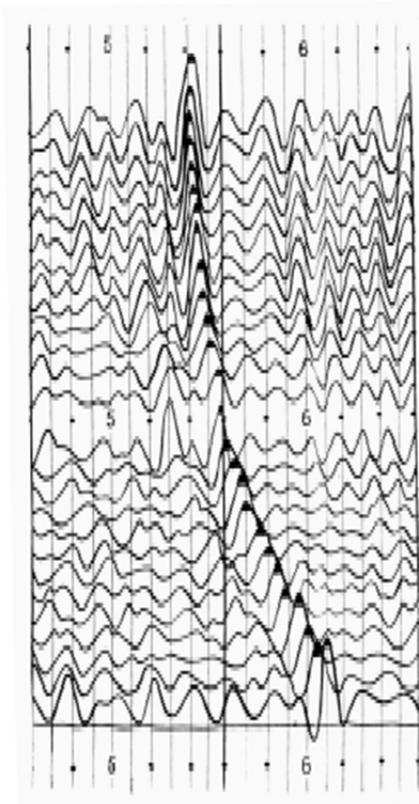


Рис. 1. Пример выделения отраженной волны на фрагменте сейсмограммы МОВ

5) Заметно меньшей эффективной скоростью по сравнению со скоростью продольных волн.

6) Обменные преломленные волны регистрируются только в последних вступлениях, интервалы их прослеживания, соизмеримые или большие чем интервалы прослеживания продольных волн, соответствующие тем же границам, интенсивность убывает с удалением от источника.

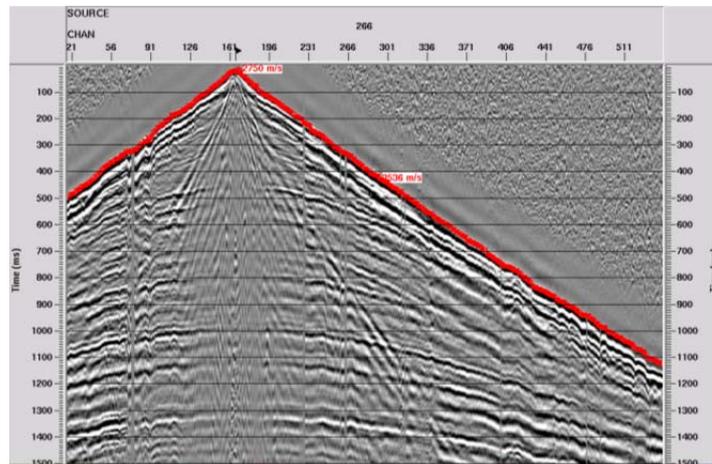


Рис. 2. Типичное волновое поле на сейсмограмме ОТВ

1 – преломленные и рефрагированные волны; 2 – отраженные волны; 3 – поверхностные волны

Распознавание однократных и многократных волн. Основные критерии:

- 1) Соотношение времен прохода волн и форм осей синфазности.
- 2) Соотношение между эффективными скоростями.
- 3) Взаимное расположение границ на разрезе.
- 4) Интенсивность волн. Амплитуды кратных волн в среднем меньше амплитуд однократных волн.
- 5) Соотношение форм записи однократных и многократных волн.
- 6) Обращение фазы (для полнократных волн).

Основные критерии распознавания преломленно-отраженных (ПО) и отраженно-преломленных (ОП) однократных и многократных волн. Годографы преломленных волн и волн ОП параллельны. Дополнительным критерием является соотношение между временами прихода t_o однократной и кратной волн ОП.

Годографы преломленных волн и волн ПО параллельны только в случае $\phi=0$. При $\phi>0$ (по падению границы) t_{OK} волн ОП меньше t_{OK} преломленных волн, а при $\phi<0$ (по восстанию границы) – больше

Волны ОП и ПО могут наблюдаться в непосредственной близости к пункту возбуждения. При этом возможны отрицательные значения кажущейся скорости. Для распознавания многократных волн особенно эффективны применение ВСП и расчет синтетических сейсмограмм.

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СРЕДНЕЙ И ЭФФЕКТИВНОЙ СКОРОСТЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В СРЕДЕ

ГОРЕЛИК Г. Д.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Очень часто перед нами стоит задача рассчитать скорость сейсмических волн в среде. Для этого строятся сейсмические модели — упрощенные представления о геологических средах, описываемые с точки зрения распределения в них упругих и неупругих параметров, с целью наиболее корректного объяснения основных особенностей экспериментально наблюдаемого волнового поля и решения на этой основе обратных задач сейсморазведки.

Сейсмические модели классифицируются по характеру распределения скоростей в пространстве с учётом факторов, определяющих поведение функций $V_p(x, y, z)$ и $V_s(x, y, z)$. Одним из которых является слоистость среды, другим — горное давление как функция глубины. В первом приближении сейсмические среды делятся на однородные — среды, характеризующиеся равенством рассматриваемых физических свойств в любой точке пространства, и неоднородные.

В сейсморазведке рассматриваются пластовая скорость — скорость распространения сейсмических волн в условно однородном пласте горных пород; средняя скорость — усреднённая характеристика скорости по вертикали и т. н. эффективная скорость — скорость распространения сейсмических волн, вычисляемая по годографам отраженных или преломленных волн.

Средняя и эффективная скорости определяются соответственно выражениями:

$$V_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}} = \frac{H}{t_B}, \quad V_{эф} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n h_i \cdot V_i}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}}},$$

где t_B — время пробега волны по вертикали (в одном направлении); H — суммарная мощность слоёв, для которой вычисляется средняя скорость, V_i — скорость в i -ом пласте, h_i — мощность i -го пласта, n — количество пластов.

Цель нашего исследования — выявить различия между средней и эффективной скоростями в одной и той же модели среды. Для простоты будем рассматривать слоисто-однородную среду, представленную двумя слоями с горизонтальными параллельными границами, причём пусть в каждом слое скорость неизменна и отлична от скорости в другом слое. Для оценки различий рассчитаем годографы отраженной от второй границы волны. Параметры исследуемых сейсмических моделей приведены на разрезах (рис. 1, 3, 5, 7).

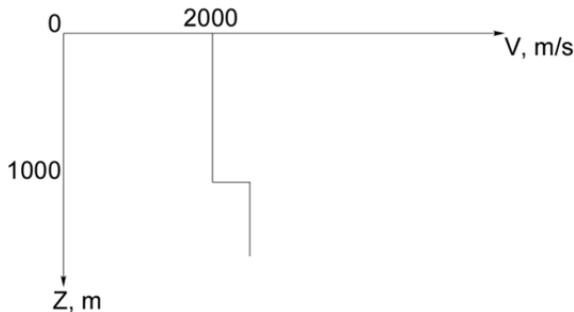


Рис. 1. Скоростной разрез для первой модели среды

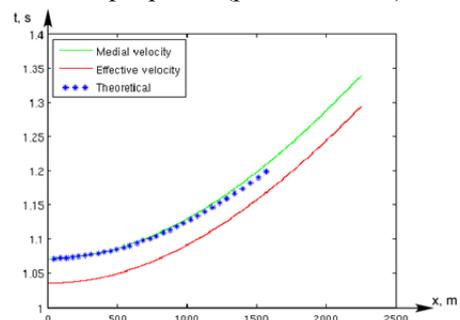


Рис. 2. Годографы, рассчитанные для модели среды, показанной на рис. 1

В первой модели скорость сейсмических волн возрастает с глубиной на небольшую величину (рис. 1). Это соответствует наблюдаемому на практике характеру изменения скорости в разрезе.

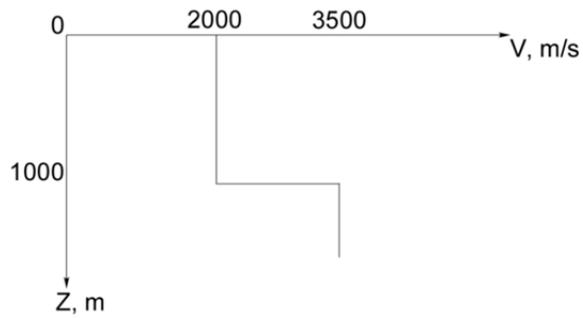


Рис. 3. Скоростной разрез для второй модели среды

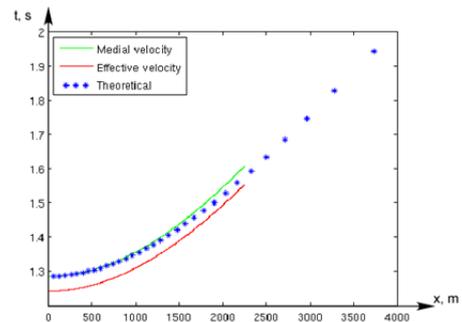


Рис. 4. Годографы, рассчитанные для модели среды, показанной на рис. 3

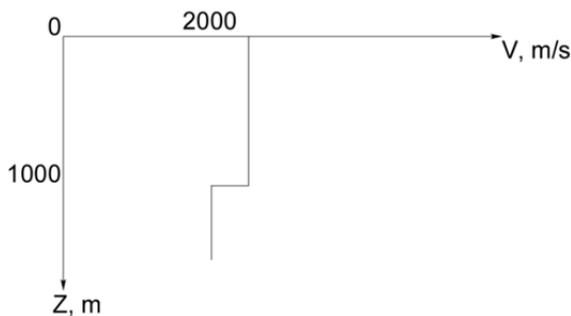


Рис. 5. Скоростной разрез для третьей модели среды

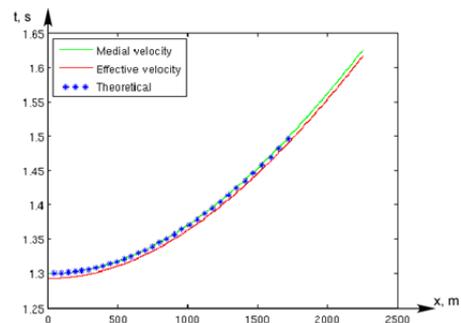


Рис. 6. Годографы, рассчитанные для модели среды, показанной на рис. 5

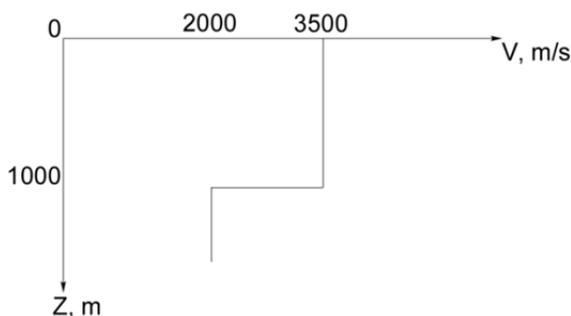


Рис. 7. Скоростной разрез для четвертой модели среды

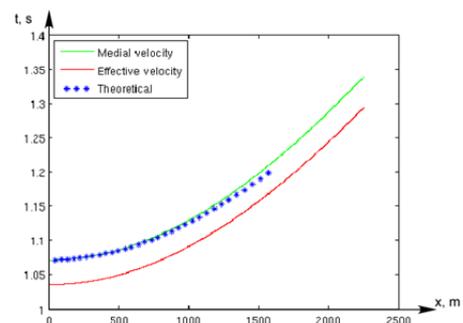


Рис. 8. Годографы, рассчитанные для модели среды, показанной на рис. 7

Во втором случае скорость возрастает с глубиной более значительно (рис. 3). Третий случай показывает аномальное распределение скоростей в среде, когда скорость с увеличением глубины уменьшается на небольшую величину (рис. 5). В четвертом случае скорость также убывает с глубиной, но более резко (рис. 7).

На рис. 2, 4, 6, 8 приведены годографы отражённой от нижней границы второго слоя сейсмической волны. Как видно из рисунков, годографы отражённой сейсмической волны, рассчитанные на основе средних скоростей, в большей степени, нежели годографы, рассчитанные на основе эффективных скоростей, соответствуют годографам, полученным по точным параметрическим формулам.

Это позволяет сделать вывод о том, что при изучении поведения волн в двухслойных однородных средах с параллельными границами более целесообразно использовать среднюю, а не эффективную скорость.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ГОДОГРАФОВ ОТРАЖЕННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ДЛЯ МОДЕЛИ ГОРИЗОНТАЛЬНО-СЛОИСТОЙ СРЕДЫ

ГАЙФИЕВ М. М.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Основополагающим моментом в теории метода отраженных волн в сейсморазведке является зависимость времени пробега волны от координат точек возбуждения и наблюдения, называемая годографом. Вычисление годографов необходимо для решения обратных задач [1].

Рассмотрим распространение волны в горизонтально-слоистой модели среды (рис. 1). Источник упругих колебаний и начало используемой декартовой системы совместим и расположим на поверхности Земли, ось OZ направим вглубь среды. В точке O возбуждается волна со скоростью V_1 , падающая под углом α до границы раздела, находящаяся на глубине H_1 . На границе волна отражается под углом отражения, равным углу падения, и направляется к поверхности. Она также, преломляясь, проходит во второй слой со скоростью V_2 под углом β . В точке D также происходит отражение от нижней границы второго слоя, и волна возвращается в первую среду, преломляясь под углом α . Эта волна регистрируется на дневной поверхности в точке A . Зная глубину залегания границ раздела, скорости сейсмических волн в обеих средах и угол входа α , можно рассчитать годограф отраженной от второй границы волны.

Из закона Снеллиуса [2] следует, что синус угла β равен: $\sin \beta = \frac{\sin \alpha \cdot V_2}{V_1}$. Зная угол преломления,

можно определить расстояние, на котором регистрируется волна: $OX = 2(H_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha + H_2 \cdot \sin \beta)$.

Время пробега волны можно вычислить по формуле:

$$t(x) = 2 \left(\frac{H_1}{\cos \alpha \cdot V_1} + \frac{H_2}{\cos \beta \cdot V_2} \right),$$

удвоение в формуле объясняется симметрией падающей и восходящей волны. Уравнение годографа отраженной волны в многослойной среде можно представить в параметрической форме:

$$t(x) = 2 \sum_{i=0}^m \frac{h_i}{V_i \cos \alpha_i},$$

где параметром служит начальный угол падения α .

Из формулы следует, что при увеличении количества слоев в модели среды приводит к увеличению числа слагаемых $\frac{h_i}{V_i \cos \alpha_i}$ на количество слоев.

Для вычисления годографа необходимо задать параметр α , угол падения. Целесообразней задавать значение α с малых углов и ограничить $OX \leq 1,5(H_1 + H_2)$, как принято в МОВ.

Рассмотрим три случая: однослойная модель среды с неизменной скоростью; двухслойная модель среды с возрастанием скорости с глубиной, а также с аномальный случай с уменьшением скорости во втором слое. На скоростных разрезах (рис. 2, 4, 6) приведены значения скоростей сейсмических волн в слоях, на рис. 3, 5, 7, 8 показаны рассчитанные годографы.

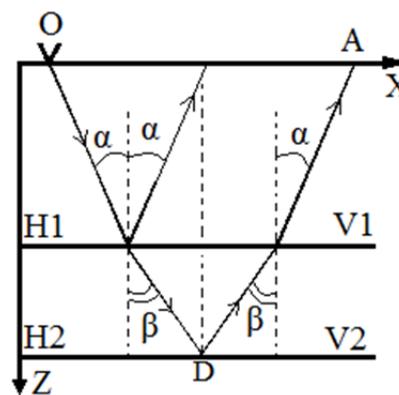


Рис. 1. Схема, поясняющая вывод уравнения годографа отраженной волны в слоисто-однородной среде

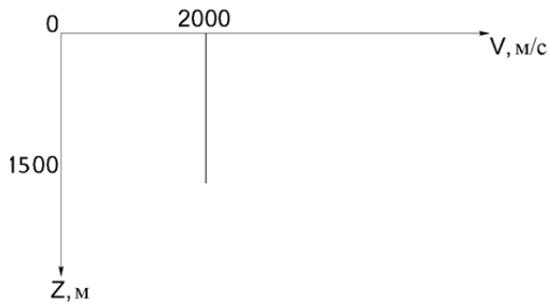


Рис. 2. Модель двухслойной среды с равными значениями скоростей упругих волн в слоях

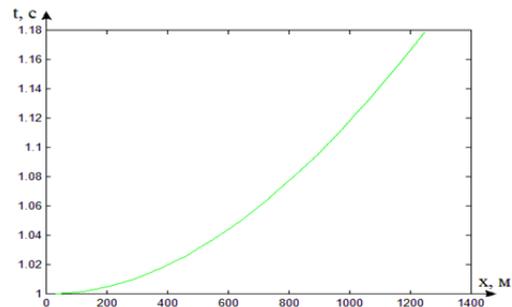


Рис. 3. Годограф отраженных волн от подошвы второго слоя, соответствующий модели на рис. 2

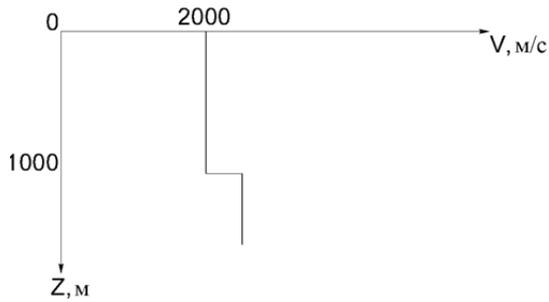


Рис. 4. Модель двухслойной среды с увеличением скорости упругих волн во втором слое

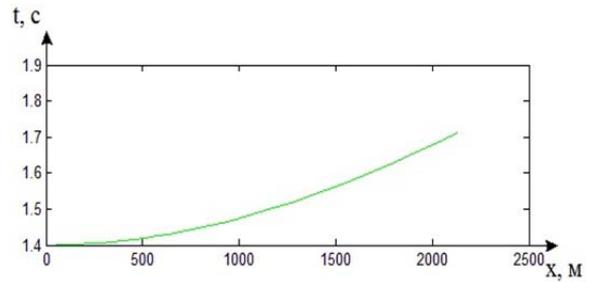


Рис. 5. Годограф отраженных волн от подошвы второго слоя, соответствующий модели на рис. 4

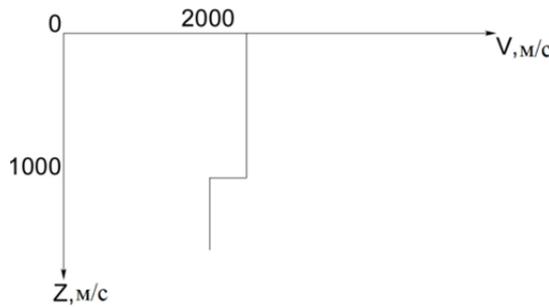


Рис. 6. Модель двухслойной среды с уменьшением скорости упругих волн во втором слое

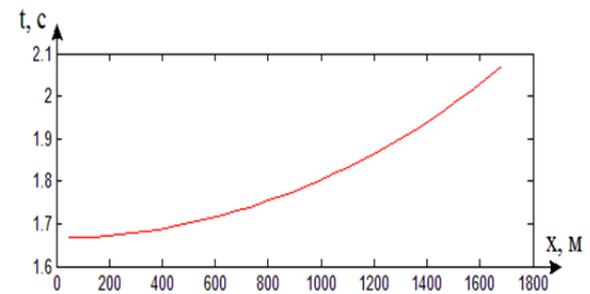
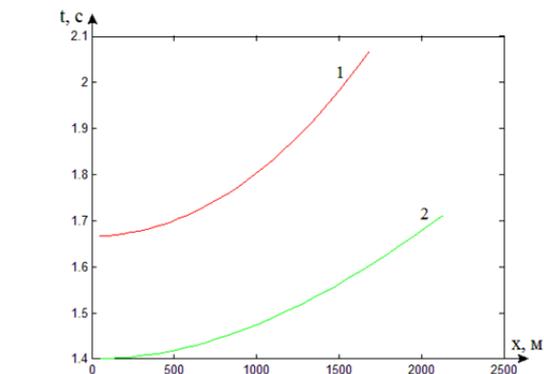


Рис. 7. Годограф отраженных волн от подошвы второго слоя, соответствующий модели на рис. 6

Рис. 8. Сравнительный вид двух годографов отраженной сейсмической волны от подошвы второго слоя:

- 1 – для аномальной скоростной модели;
- 2 – нормального характера изменения скорости с глубиной



В заключение отметим, что рассмотренный алгоритм позволяет рассчитывать годографы отраженных волн в многослойной среде с высокой степенью точности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондарев В. И. Сейсморазведка. Екатеринбург: УГГУ, 2007. 704 с.
2. Гурвич И. И., Боганик Г. Н. Сейморазведка: учеб. для вузов. Тверь: АИС, 2006. 744 с.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ СКВАЖИННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

ДЕЙКОВ А. А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Методы скважинной сейсморазведки подразделяют на интегральные, при которых исследования ведут в диапазоне частот 5-100Гц на базах, измеряемых десятками, сотнями и тысячами метров, и дифференциальные, объединяющие все виды акустического каротажа (АК) в диапазоне частот 0,1-2000,0 кГц на базах 1-10 м.

К интегральным методам относят сейсмический каротаж (СК), вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП), его поляризационную модификацию (ПМ ВСП), непродольное ВСП (НВСП), ВСП с многократным прослеживанием границ вблизи скважины (ВСП МПГС), ВСП с накоплением данных в общей глубинной точке (ВСП ОГТ), метод обращенных годографов (МОГ), метод сейсмического торпедирования (МСТ), межскважинное сейсмическое просвечивание (МСП), околоскважинное сейсмическое просвечивание (ОСП), метод скважинного сейсмоприемника (МСС) и др. [1].

Цель интерпретации данных ССП и АК – изучение упругих свойств пород, слагающих разрез, и разделяющих их границ в скважине и околоскважинном пространстве: скоростей распространения волн, коэффициентов отражения и поглощения, акустической жесткости, упругой и неупругой анизотропии среды.

Наряду с изучением упругих и неупругих свойств разреза при интерпретации данных скважинной сейсморазведки решают следующие геологические и методические задачи [2]:

- 1) Определяют кинематические и динамические параметры волн и определяют их природу;
- 2) Осуществляют стратиграфическую привязку волн, регистрируемых при наземных наблюдениях МОВ и МПВ и отождествляют волны разных типов, связанных с одними и теми же элементами разреза;
- 3) Выбирают методику работ МОВ и МПВ (условия возбуждения, приема и системы наблюдений), оптимальную для решения поставленных геологических задач;
- 4) Выделяют и прослеживают стратиграфические и литологические границы, трассируют тектонические нарушения в околоскважинном пространстве;
- 5) Осуществляют геологическую привязку результатов ПГР по данным наземной сейсморазведки, экстраполируют данные ССП и АК по сейсмическим профилям МОВ и МПВ за пределы околоскважинного пространства;
- 6) Прогнозируют геологический разрез ниже забоя скважины, в том числе залежи нефти и газа и зоны аномально высоких пластовых давлений;
- 7) Определяют рациональное размещение скважин и ведут контроль за разработкой месторождений нефти и газа.

Интерпретация данных скважинной сейсморазведки включает следующие этапы.

Составление сводных сейсмограмм и их обработка. Сводную сейсмограмму получают, располагая трассы соответственно глубинам z вертикального профиля и координатам x горизонтального профиля.

Введение статических поправок. Статические поправки вводят путем смещения трасс по оси времен на величины поправок Δt с целью исключения систематических искажений и разбросов времен на годографах. Различают поправки: Δt_m – за отметку момента возбуждения; Δt_g – за глубину взрыва; Δt_n – за глубину погружения скважинного приемника; Δt_d – за деформацию пород вблизи источника; Δt_k – за кривизну скважины, в которой проводятся измерения; Δt_ϕ – за разность времен на годографах фаз и первых вступлений.

Введение кинематических поправок. Связь между временем t_0 по вертикали и наблюдаемым временем t прямой волны определяется законом изменения скорости с глубиной $V(z)$ и зависит от расстояния x_0 между пунктом взрыва и устьем скважины:

$$t_0 = t - \Delta t_0 [x_0, V(z)] = t - \Delta t_0(x_0, z) \quad \text{или} \quad t_0 = tF[x_0, V(z)] = tF(x_0, z),$$

где $\Delta t_0(x_0, z)$ – поправка за отклонение луча от вертикали; $F(x, z)$ – коэффициент приведения.

Распознавание волн-помех и борьба с ними. Волны-помехи возникают при воздействии упругих волн на натянутый кабель, обсадную колонну или столб жидкости, заполняющий скважину.

При слабом контакте сейсмоприемника с обсадкой скважины и породами часто возникают собственные колебания системы сейсмоприемника – стенка скважины – порода.

Выделение и прослеживание полезных волн. Проходящие волны прослеживаются на сейсмограммах вертикального профиля $Z(t, z)$ в виде нисходящих прямолинейных или слабо криволинейных осей синфазности.

Отраженные волны прослеживаются на вертикальном профиле в виде нисходящих осей синфазности, примыкающих к нисходящим осям первых волн.

Множественно–отраженные волны отмечаются на вертикальном профиле в последующей части в виде восходящих и нисходящих осей, пересекающихся на уровне залегания отражающих границ и вблизи поверхности земли.

Стратиграфическая привязка и отождествление волн. На вертикальных и горизонтальных профилях и сейсмограммах разных компонент записи выполняют путем сопоставления соответствующих волновых картин.

Определение относительной интенсивности кратных волн. По записям ССП можно более надежно, чем по наземным записям, определить соотношение амплитуд a_n/a_1 одновременно приходящих кратных и однократных волн, что важно знать при расчете интерференционных систем для подавления кратных волн.

Построение границ по проходящим волнам. На сейсмограммах, полученных с помощью около скважинного просвечивания (ОСП), прослеживают волны на горизонтальном и вертикальном профилях и по их годографам определяют положение преломляющей границы, разделяющей пласты с различающимися скоростями V_1 и V_2 . Для построения границы применяют способы градиентов, полей времен и апплантных линий.

Прослеживание и построение отражающих границ. По сейсмограммам ССП (МОГ, МСТ, НВСП, ВСП МПГС) способами, применяемыми в наземной сейсморазведке ОВ, получают временные и динамические глубинные разрезы. Границу прослеживают с учетом смещения точек отражения по горизонтали по мере смещения точек возбуждения и приема на вертикальном и горизонтальном профилях.

Интерпретация данных АК. С помощью АК получают детальную скоростную характеристику разреза, определяют поглощающие и отражающие свойства геологических сред в диапазоне ультразвуковых частот, осуществляют литологическое расчленение разреза и стратиграфическую привязку сейсмических горизонтов и псевдоакустических сейсмических разрезов МОВ.

Данные АК используют при интерпретации материалов наземных методов сейсморазведки. Так, сейсмическую запись, полученную близ устья скважины, можно пересчитать в кривую псевдоакустического каротажа (ПАК) и сопоставить с кривой интервальной скорости АК, построенной в масштабе двойного времени. При этом волны, выделяемые на участках с резким градиентом интервальной скорости, соответствуют реальным отражающим горизонтам. Можно также сравнивать кривую интервальной скорости с данными псевдоакустических преобразований и построенным сейсмическим разрезом. По данным АК рассчитывают синтетические сейсмограммы для изучения волнового поля на поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондарев В. И. Сейсморазведка: учебник для вузов. Екатеринбург: УГГУ, 2007.
2. Сейсморазведка. Справочник геофизика / Под ред. И. И. Гурвича, В. П. Номоконова. М.: Недра, 1981.

ДИФРАГИРОВАННЫЕ ВОЛНЫ В МАЛОГЛУБИННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

ТАГИРОВА З. Р.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Современные темпы строительной индустрии зачастую негативно влияют на состояние верхней части разреза. Такое воздействие приводит к нарушению инженерно-геологических и гидрогеологических особенностей разреза, что, в свою очередь может привести к образованию так называемых ослабленных зон. В этих зонах часто развиваются процессы разуплотнения горных пород, просадки, усадки грунтов, следствием которых являются деформации находящихся в непосредственной близости сооружений. Все это приводит к разрушениям зданий и сооружений, крупным авариям в туннелях, трубопроводах, кабельных сетях и т. п. Поэтому необходимо своевременно прогнозировать потенциально опасные участки, на которых пока отсутствуют внешние признаки разрушительных земных процессов. В таких условиях востребованность геофизических методов при малоглубинных исследованиях постоянно возрастает [1].

Малоглубинные сейсмические исследования выполняются в специфических особенностях верхней части разреза, характеризующейся резкой вертикальной и горизонтальной изменчивостью свойств, а также невыдержанностью границ. В работах предъявляются повышенные требования к точности построения границ и оценке свойств пород, детальной характеристики инженерно-геологических условий. Практика ставит задачи, где требуется выделять объекты с характерным размером порядка нескольких метров.

В настоящее время при малоглубинных сейсмических исследованиях применяется метод преломленных волн (МПВ) [2]. В МПВ обычно регистрируются головные (распространяющиеся вдоль преломляющей границы), рефрагированные (образуются в градиентных средах), преломленно-рефрагированные. Недостатками этого метода являются неоднозначность решения обратной задачи, меньшая детальность расчленения разреза, низкая разрешающая способность. Разрешающая способность сейсморазведочного метода определяется его возможностями в раздельном обнаружении и оценивании параметров целевых объектов, минимальных по размерам и контрастности упругих свойств.

Для получения более полной информации о волновом поле требуется поиск и применение новых эффективных способов построения волновых изображений среды, извлечения дополнительной геологической информации об объектах исследований в сложных сейсмогеологических условиях. Поэтому повышение разрешающей способности сейсмических методов является весьма актуальной проблемой.

Одним из способов повышения разрешающей способности при сейсмических исследованиях является применение дифрагированных волн [3]. Дифракция возникает в результате взаимодействия падающего волнового фронта с областями нарушения однородности среды, соизмеримыми или меньшими длины сейсмической волны. Источниками дифракции являются изломы и шероховатости сейсмических границ, включения тел неправильной формы. Обнаружение и выделение дифрагированных волн имеет большое практическое значение для выделения ослабленных зон. Разрешающая способность дифрагированных волн выше, чем разрешающая способность отраженных и преломленных волн. Поэтому, основным достоинством дифрагированных волн является большая детальность изучения геологической среды, по сравнению с другими методами. На сейсмограммах МПВ иногда прослеживаются записи дифрагированных волн, они существенно осложняют корреляцию преломленных волн и являются помехами. В благоприятных же случаях они могут быть четко прослежены и проинтерпретированы, а также использованы в качестве полезных волн.

В настоящее время волны этих типов широко применяются при решении задач нефтегазовой сейсморазведки в методе сейсмического локатора бокового обзора (СЛБО).

Этот метод основан на использовании рассеянных и дифрагированных волн на больших глубинах (2-3 км и больше), и предназначен для изучения открытой трещиноватости в больших объемах геологической среды на нефтегазовых месторождениях.

Физической основой СЛБО является свойство трещин геосреды переизлучать упругую энергию сейсмических волн, приходящую к ним от сейсмического источника. Переизлученные от трещин рассеянные волны, присутствующие в регистрируемом сейсмическом волновом поле, в энергетическом отношении на 1-2 порядка ниже зеркально-отраженных волн. Выделение слабых рассеянных волн и определение места их зарождения в геосреде основано на принципе локатора бокового обзора, реализуемого при выполнении полевых наблюдений и обработке сейсмических материалов. Технология полевых наблюдений СЛБО включает создание на поверхности Земли пространственных систем: апертуры приема и синтезированной апертуры излучения сейсмических волн. Для реализации бокового обзора эти апертуры располагают за пределами площади исследования. Эффективность использования СЛБО не только на поисково-разведочных площадях, но и на разрабатываемых месторождениях неоднократно подтверждена многими примерами [4].

При малоглубинных исследованиях необходима уже другая технология регистрации, обработки и интерпретации дифрагированных волн, чем в СЛБО. Разработка необходимой методики позволит более эффективно прогнозировать физико-геологические модели, оценивать и определять структурные, гидрогеологические и другие параметры грунтов под основаниями инженерных сооружений.

Методика применения дифрагированных волн в малоглубинных сейсмических исследованиях с успехом может быть использована для локализации неоднородностей в верхней части разреза, связанных с различными инженерно-геологическими процессами, и оценки состояния оснований объектов инженерных сооружений в пределах городских территорий, в том числе в условиях интенсивных промышленных помех. При исследованиях не требуется бурить скважины или делать шурфы, что очень важно при проведении работ с памятниками архитектуры или в условиях плотной городской застройки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии. Мин-во геологии. СССР; Всесоюз. науч.-исслед. инт-т гидрогеол. и инж. геол./ Под ред. Н. Н. Горяинова. М.: Недра, 1992. 264 с.
2. Никитин В. Н. Основы инженерной сейсмологии. М.: Изд-во МГУ, 1981.
3. Ковалевский Г. Л. Кинематические и некоторые динамические особенности дифрагированных волн. Геология и Геофизика, 7, 1961. С.101-110.
4. Кузнецов О. Л. [и др.]. Сейсмический локатор бокового обзора: Геофизика // Специальный выпуск к 40-летию ОАО «Тюменнефтегеофизика». 2004. С. 17-22.

ИЗУЧЕНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ УРАЛА

ШИЛИНА Г. В.¹, ТЕЛЕГИН И. А.¹, ПУСТОВАЛОВ Н. А.²

¹ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», ²ОАО «Уралсейсмоцентр»

Несмотря на то, что Урал не относится к основным сейсмически активным регионам России (таким, как Дальний Восток, Забайкалье, Северный Кавказ), по данным описаний и инструментальных наблюдений за последние сто лет по Уральскому региону отмечено около сотни сейсмических событий различной интенсивности, значительную часть которых исследователи относят к тектоническим землетрясениям [1, 2]. При этом около половины из них сосредоточено в густонаселенных и промышленно освоенных районах Среднего и Южного Урала. Эпицентры событий расположены в пределах зон геодинамического влияния крупных глубинных разломов, активных в настоящее время. В этих же зонах находится подавляющая часть месторождений полезных ископаемых, при отработке которых возникают горные удары и даже природно-техногенные землетрясения.

Учитывая высокую концентрацию промышленных объектов и экологически опасных производств на территории Уральского региона, последствия крупного землетрясения могут стать катастрофическими. Поэтому Средний Урал и прилегающие к нему районы Северного и Южного Урала в результате работ по общему сейсмическому районированию Российской Федерации (ОСР-97) были отнесены к сейсмоактивным регионам, где возможны землетрясения интенсивностью 6 баллов (шкалы MSK-64) и более [3].

В целях минимизации последствий разрушительных землетрясений ведется работа по уточнению сейсмичности Урала, его отдельных районов и населенных пунктов.

Для выполнения этих функций постановлением Правительства Свердловской области от 23 октября 1998 г. было создано ГОУ НПП «Уралсейсмоцентр» (в 2011 г. преобразовано в ОАО «Уралсейсмоцентр»).

Основные направления деятельности ОАО «Уралсейсмоцентр»:

- проведение детального сейсмического районирования конкретных территорий для оценки степени сейсмичности геологической среды;
- создание Уральской региональной сейсмологической сети, передающей сведения в соответствующие организации с последующим включением этой сети в Федеральную систему сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений (ФССН);
- осуществление сейсмологического мониторинга напряженно-деформационного состояния геологической среды и контроль сейсмического режима;
- проведение экспертизы конкретных территорий и экологически опасных объектов в отношении сейсмической опасности геологической среды (по результатам экспертизы выдается заключение).

За время существования предприятия проведены работы по сейсмическому районированию территорий, построены комплекты карт сейсмического районирования различных масштабов, накоплен большой объем информации.

Для построения карт сейсмического районирования регионального уровня были собраны и проанализированы материалы по известным землетрясениям, карты сейсмичности, элементы геологических карт (тектоника, интрузивные образования, структурные зоны) и геофизические материалы, а также качественные критерии оценки сейсмической опасности.

На основе изученной информации в 2001 г. была построена карта потенциальной сейсмической опасности Урала масштаба 1:1000000. На карте отображены зоны потенциальной сейсмоопасности, а также потенциально сейсмоопасные узлы, образованные пересечением этих зон.

Сейсмогенные зоны на Урале представляют собой тектонически активные флексурно-разрывные зоны или зоны дислокаций, являющиеся границами крупных блоков земной коры. Эта схематическая карта стала основой для построения карты сейсмического районирования изученной территории, которая является руководящим документом для проектировщиков и

строителей. В то же время данная карта может стать основой для построения карт детального сейсмического районирования масштаба 1:200000 и крупнее.

Решению проблемы сейсмической опасности Свердловской области было посвящено специальное совещание в 2005 г. Совета безопасности при губернаторе Свердловской области. ГОУ НПП «Уралсейсмоцентр», в соответствии с договором с Министерством строительства и ЖКХ Свердловской области, была составлена схематическая карта сейсмического и геодинамического районирования территории Свердловской области в масштабе 1:200000. Эта работа может рассматриваться в качестве начального этапа решения проблемы по обеспечению безопасности эксплуатации инженерных объектов и инженерно-технических, гидротехнических сооружений, предупреждению и снижению риска возникновения крупных аварий и катастроф. Подобная карта построена также на территорию Челябинской области.

ОАО «Уралсейсмоцентр» выполняет учет сейсмической опасности при разработке генпланов муниципальных образований. Сейсморайонирование отдельных территорий в масштабе 1:10000-1:25000 ведется в рамках реализации программы планирования территорий. Основная цель этого этапа работ – схематическое районирование территорий отдельных муниципальных образований по величине предполагаемой силы сейсмического воздействия.

К настоящему времени составлены карты-схемы сейсмического районирования на территорию 29 муниципальных образований, среди которых г. Верхняя Пышма, г. Березовский, г. Первоуральск, г. Ревда; Качканарский, Кушвинский, Североуральский, Ирбитский, Нижнесергинский ГО.

На территории Свердловской области, в соответствии с постановлением Областного Правительства (от 23 октября 1998 г.), действует особый порядок обязательной оценки сейсмичности площадок новой застройки. Заключение о сейсмичности таких площадок выдает ОАО «Уралсейсмоцентр».

Для оценки сейсмической опасности территорий размещения особо ответственных и экологически опасных объектов проводятся работы по сейсмическому микрорайонированию. Это, в первую очередь, объекты ФГУП «ПО «Маяк»» в г. Озерск Челябинской области и ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор»» в г. Лесной Свердловской области.

Кроме того, планируется расширение действующей сейсмологической сети и проведение мероприятий по мониторингу сейсмического режима особо ответственных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашубин С. Н., Дружинин В. С., Гуляев А. Н. [и др.]. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 125 с.
2. Каталог сейсмических событий. Обнинск: Геофизическая Служба РАН, 2008.
3. Строительные Нормы и Правила, СНиП II-7-81*, ГОССТРОЙ России, 2000.

ОСОБЕННОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ПО ДАННЫМ ГИС ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ БАШКИРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СОЛЬ-ИЛЕЦКОГО СВОДА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

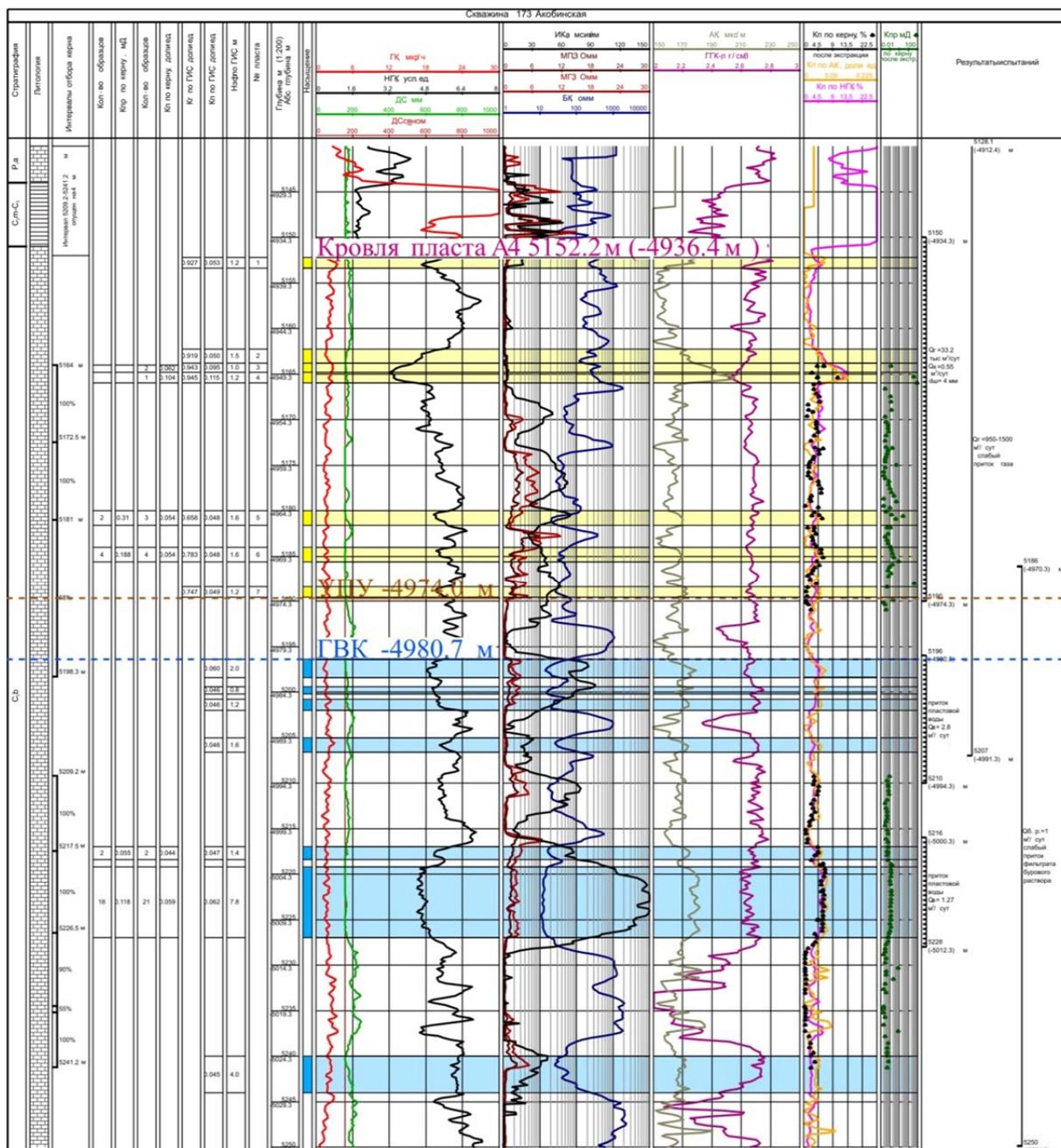
ЛИТФУЛЛИНА Т. П.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

В данной работе изучены особенности выделения пород-коллекторов отложений башкирского возраста на Оренбургском, Акобинском, Нагумановском, Бердянском месторождений, Вершиновском участке. Рассматриваемые территории имеют весьма сложное горно-геологическое строение, обусловленное развитой солянокупольной и разломной тектоникой. В пределах региона установлена продуктивность отложений башкирского яруса среднего карбона. Ярус сложен серыми и светло-серыми оолитовыми известняками. Региональной покрывкой служат отложения верейского горизонта московского яруса, представленные терригенными и терригенно-карбонатными фациями. Отложения башкирского яруса вскрыты по всему изучаемому разрезу, мощность варьирует от 50 м в скважине 495 Вершиновской до 253 м в скважине 502 Восточной (Оренбургское НГКМ).

Коллекторы представлены низкопористыми и трещиноватыми разностями известняков со сложной структурой порового пространства и низкой проницаемостью. Физико-литологические и фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов изучены по данным кернового материала и геофизических исследований. Для повышения качества интерпретации материалов ГИС построены и проанализированы различные корреляционные зависимости типа «кern-кern», «кern-ГИС», «ГИС-ГИС»: открытой пористости от проницаемости, параметра пористости от коэффициента пористости, параметра насыщенности от коэффициента водонасыщенности, кросс-плоты и т. д., определены граничные значения. Породы-коллекторы продуктивных залежей башкирского возраста относятся к межзерновому (поровому) типу, осложненному трещиноватостью и кавернозностью. Вклад последних в общую емкость невелик, а трещиноватость усиливает фильтрационные возможности коллекторов.

Выделение пластов-коллекторов осуществлялось с использованием как прямых качественных признаков (проникновение фильтрата бурового раствора в пласт, результатов непосредственного опробования пластов), так и количественных критериев [1], основанных на граничных значениях пористости (на рисунке приведен пример интерпретации данных ГИС по скважине 173 Акобинской). Для обоснования граничного значения пористости (K_n) коллекторов башкирской залежи построены кривые распределения коллекторов и неколекторов по пористости, определённой по керну [2]. При этом образцы керна были привязаны к выделенным по материалам ГИС эффективным толщинам. По материалам ГИС пласты-коллекторы башкирской залежи (пласт A_4) характеризуются пониженными значениями водородосодержания по данным НГК, низкими величинами естественной гамма-активности, значениями электрического сопротивления по БК 25- <1000 Ом·м, повышенными величинами скорости прохождения упругих волн (ΔT по АК) – 170-225 мкс/м, наличием приращения на кривых МКЗ. Для оценки удельного сопротивления в условиях карбонатного разреза использовался боковой каротаж, на диаграммах которого пористые газонасыщенные и нефтенасыщенные пласты характеризуются низкими сопротивлениями среди плотных непроницаемых пород. Пористость пластов-коллекторов рассчитывалась по кривым нейтронного, акустического, плотностного каротажа, при наличии по комплексу НГК+АК+ГГК по стандартной методике. Хорошая сопоставимость результатов определения ёмкостных свойств и вещественного состава (объёмной модели) пород по керну и ГИС указывают на адекватность выбранной интерпретационной модели реальным условиям и достоверность полученных результатов интерпретации и определения пористости по материалам ГИС. Газонасыщенность рассчитана с использованием петрофизических зависимостей.



Геолого-геофизическая характеристика башкирских отложений скв. 173 Акобинской

Поинтервальная обработка ГИС скважин и оценка фильтрационно-емкостных свойств пластов позволили оценить распределение параметров неоднородности геологического разреза, распределение содержания коллекторов, мощность продуктивных коллекторов, пористость, проницаемость, нефтегазонасыщенность, линейные запасы и т. д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сковородников И. Г. Геофизические исследования скважин: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. С. 112.
2. Литфуллина Т. П., Силагина Т. В. Особенности коллекторских свойств продуктивных отложений башкирского яруса Оренбургской части Предуральяского краевого прогиба // Нефтепромысловое дело: научно-технический журнал. Москва. 12. 2010. – С. 25-28.

ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ СВОЙСТВА И ТИПИЗАЦИЯ КОЛЛЕКТОРОВ В РАЗРЕЗЕ АЧИМОВСКОЙ ТОЛЩИ УРЕНГОЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

ФРОЛОВА Е. В., КОРЯКОВЦЕВА М. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Важными факторами при планировании эффективной системы разработки газового резервуара являются его строение, наличие, расположение и характер глинистых микробарьеров внутри порового пространства, обуславливающих сложное распределение фильтрационно-емкостных свойств. Неоднородность последних является следствием син- и постседиментационных процессов. На петрофизические параметры терригенных пород наибольшее влияние оказывает генетическая неоднородность, предопределенная условиями формирования осадочной толщи (Чернова, Клименко, 2010). Именно анизотропия петрофизических свойств является главной причиной существенного расхождения проектных и фактических показателей разработки на большинстве нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири, в том числе и на Уренгойском нефтегазоконденсатном месторождении, где одним из крупнейших объектов добычи газа и конденсата является ачимовская толща, представленная в основном переслаиванием песчаников, алевролитов и глинистых пород.

Строение ачимовской толщи крайне неоднородное, в ее составе выделяются несколько песчаных пластов, имеющих линзовидный характер залегания, с характерными оползневыми структурами и текстурами брекчирования. Песчаники ачимовских пластов сероцветные, преимущественно мелкозернистые, алевролиты крупнозернистые, аркозового состава, средне- и крепкоцементированные глинистым и карбонатно-глинистым цементом, часто известковистые, однородные и слоистые. Встречается значительное количество углистого детрита. Аргиллиты темно-серые, слюдястые, крепкие, массивные.

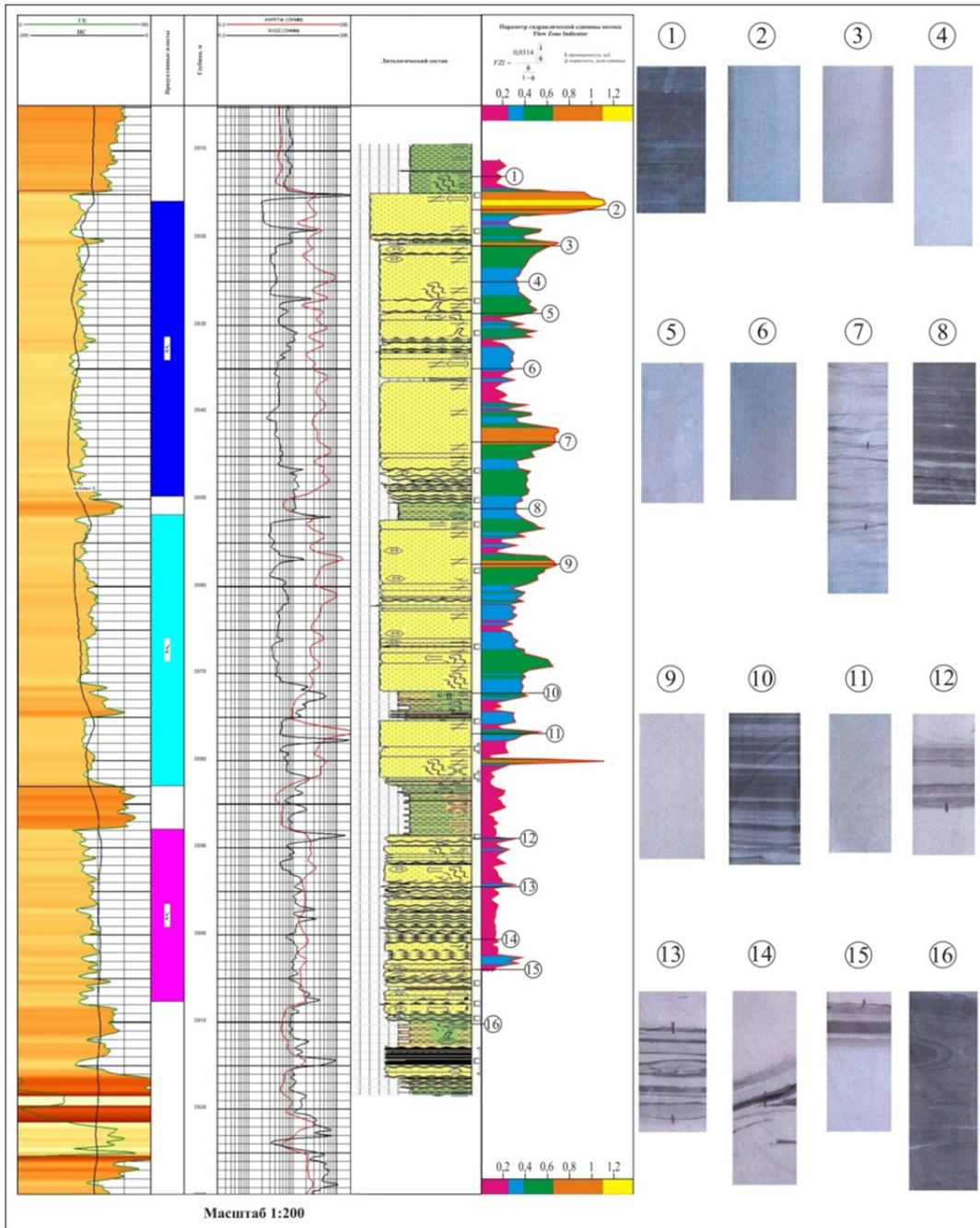
В качестве исходных данных для определения фациальной принадлежности пород, выделения классов коллекторов и их типизации по разрезу ачимовской толщи Уренгойского месторождения использованы керновый материал по разведочной скважине и результаты лабораторных исследований фильтрационно-емкостных свойств керна (250 образцов).

Исследуемые отложения представлены фациями алевроито-песчаных осадков передовой части дельты, песчано-алевритовых осадков малоподвижного мелководья, глинисто-алевритовых осадков приморских озер, глинисто-алевритовых осадков приливно-отливной зоны. По разрезу снизу вверх наблюдается тенденция смены дельтовых обстановок с преобладанием приливно-отливной энергии отложениями полуизолированного малоподвижного бассейнового мелководья.

Для выделения классов коллекторов с близкими характеристиками порового пространства использована методика фильтрационных ячеек, базирующаяся на расчете параметра гидравлической единицы потока Flow Zone Indicator (Кошовкин, Белозеров, 2007, Тиаб, 2009, Чернова, Клименко, 2010). В таблице приведены характеристики FZI для пластов Ач₃–Ач₅ Уренгойского месторождения. На рисунке показана типизация коллекторов по разрезу.

Характеристика FZI для пластов Ач₃–Ач₅ Уренгойского месторождения

Тип коллектора	FZI	Среднее значение коэффициента пористости, %	Среднее значение коэффициента проницаемости, мД
5	1,11-2	21,09	21,92
4	0,64-1,1	20,46	13,32
3	0,39-0,63	21,63	5,93
2	0,24-0,38	19,39	1,05
1	<0,23	13,17	0,05



Сводный геолого-геофизический разрез ачимовской толщи Уренгойского месторождения

Таким образом, наблюдается значительная неоднородность распределения коллекторов в разрезе ачимовской толщи Уренгойского месторождения. Проницаемые породы с высокими фильтрационно-емкостными свойствами (4 тип коллектора) преимущественно отмечены в пластах верхней части разреза ачимовской толщи (пласт Ач₃), образовавшихся в малоподвижных мелководно-бассейновых обстановках. Ухудшение коллекторов (2, 3 типы) тяготеет к появлению в разрезе приливно-отливных осадков, наименее проницаемые породы (1 тип) образованы в условиях передовой части дельты, что, возможно, обусловлено влиянием роли берега как барьерной зоны для накопления глинистого материала и последующего его негативного участия в фильтрационно-емкостных свойствах пород.

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПЛАСТОВЫХ ВОД НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПОКАЗАНИЯ НЕЙТРОН-НЕЙТРОННОГО КАРОТАЖА

ГАТИЯТОВ Р. Л.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Нейтронные методы исследования скважин широко применяются на месторождениях нефти и газа для определения коллекторских свойств горных пород, выявления продуктивных залежей, контроля разработки месторождений и решения других важных задач.

В нейтронных методах используются особенности взаимодействия нейтронного излучения с веществом. Так, нейтрон-нейтронный каротаж (ННК) основан на облучении горных пород потоком быстрых нейтронов (тепловых или надтепловых). Известно, что замедляющая способность среды зависит от ее водородосодержания, так как ядра водорода обладают самым высоким сечением рассеяния быстрых нейтронов по сравнению со всеми остальными химическими элементами.

На показания ННК кроме водородосодержания горных пород заметно влияет концентрация элементов с высоким сечением поглощения тепловых нейтронов. В большинстве осадочных пород нефтяных разрезов таким элементом является хлор, содержащийся в пластовых водах, минерализация которых может достигать 250-300 г/л.

С целью оценки пространственного распределения замедляющихся нейтронов проведены расчеты в одностороннем диффузионном приближении:

$$N(r) = \frac{Q\tau}{4\pi r(L_s^2 - L_d^2)} [\exp(-r/L_s) - \exp(-r/L_d)], \quad (1)$$

где τ – время жизни тепловых нейтронов, r – расстояние от источника быстрых нейтронов до счетчика тепловых нейтронов, L_s – длина замедления быстрых нейтронов, L_d – длина диффузии тепловых нейтронов [1].

В качестве модельной была рассмотрена среда, состоящая из кварцевого песка и воды. Расчет производился для случая пресной и минерализованной воды (с содержанием NaCl 200 г/л). Рассматривались различные длины зондов скважинных приборов r от 10 см до 60 см. На рис. 1 представлены результаты расчетов. Из графиков видно, что по сравнению с пресной водой в минерализованной воде поток тепловых нейтронов значительно меньше – на один-два порядка. С увеличением длины зонда растет и кратность ослабления потока нейтронов. Это связано с тем, что в водоносных породах, насыщенных минерализованной пластовой жидкостью, длина миграции нейтронов L , которая определяется как

$$L = \sqrt{L_s^2 + L_d^2}, \quad (2)$$

всегда меньше, чем в пресной, так как присутствие Cl значительно уменьшает L_d и практически не сказывается на L_s . Наличие хлора уменьшает и время жизни тепловых нейтронов τ . Поэтому большие расстояния в минерализованной воде преодолевает гораздо меньшее число нейтронов.

Если $L_d \gg L_s$, то выражение (1) для достаточно больших расстояний от источника нейтронов можно переписать:

$$N(r) = \frac{Q\tau \exp(-r/L_s)}{4\pi r(L_s^2 - L_d^2)}. \quad (3)$$

Избавиться от влияния минерализации пластовой воды на показания ННК можно путем измерения потоков тепловых нейтронов на двух достаточно больших расстояниях от источника r_1 и r_2 (например, 50 и 60 см). При этом

$$\frac{N(r_1)}{N(r_2)} \approx \frac{r_2}{r_1} \exp[-(r_2 - r_1)/L_s]. \quad (4)$$

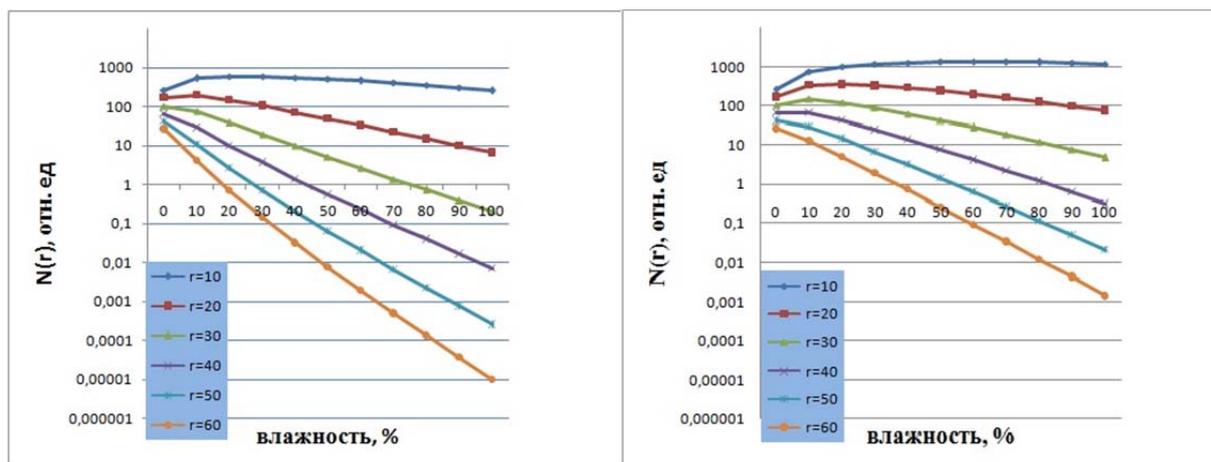


Рис. 1. Графики для кварцевого песка при присутствии и отсутствии минерализации:
слева – кварцевый песок с минерализованной водой (содержание NaCl 200 г/л); справа – кварцевый песок с пресной водой

Величина этого отношения будет весьма чувствительна к изменению водородо-содержания (через параметр r) и независима от содержания хлора, который влияет на r и $N(r)$. В приведенном выражении длина диффузии тепловых нейтронов L и время жизни тепловых нейтронов отсутствуют [2].

По результатам расчетов на описанной выше модели, отношение (4) ведет себя достаточно стабильно (рис. 2).

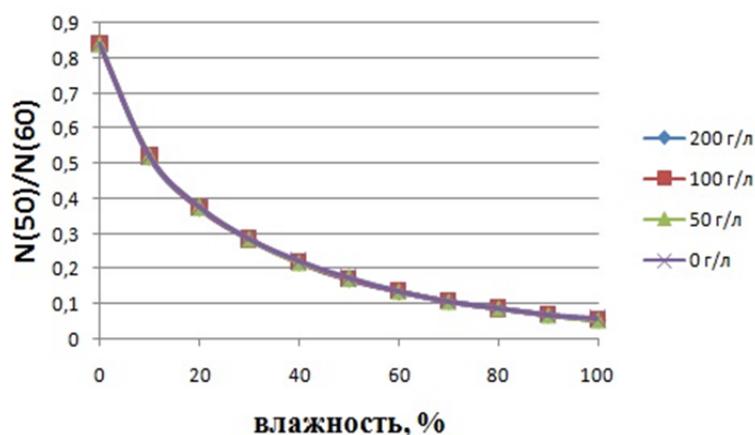


Рис. 2. Зависимость отношения $N(50)/N(60)$ от содержания воды и ее минерализации

Как видно из графика, минерализация пластовой воды практически не сказывается на отношении $N(50)/N(60)$ – кривые для разной минерализации совпадают друг с другом. Среднеквадратическое отклонение не превышает 1 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александрова Ж. Н. Петрофизика коллекторов. Екатеринбург: УГГУ, 2006. С. 111-113.
2. Добрынин В. М., Вендельштейн Б. Ю., Кожевников Д. А. Петрофизика. М: Изд-во «Нефть и газ» РГУ им. Губкина, 2004. С. 275-278.

КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТЫНДИНСКОГО РАЙОНА

БОГОМОЛОВ А. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Участки «Бончок» и «Солнечный» расположены в центральной части площади в пределах южного и северного контакта Брянтинской вулканотектонической структуры и вмещающих её пород. Наиболее древними образованиями являются габброиды хорогочинского и амфиболиты лучанского интрузивных комплексов. Породы часто изменены и интенсивно эпидотизированы, хлоритизированы, рассланцованы до образования бластомилонитов, окварцованы как по массе, так и по прожилкам. В них отмечается сульфидная минерализация, по которой развиваются вторичные минералы железа. Вулканогенно-осадочный комплекс представлен андезитовыми, андезито-дацитовыми порфиритами, их пирокластическими аналогами, туфогенными песчаниками. Кроме этого отмечаются дациты и их туфы, риолиты и их туфы, промежуточные между ними разновидности. Для вулканогенно-осадочных пород наиболее характерны процессы аргиллизации, пропилитизации, в меньшей степени проявлены прожилково – метасоматическое окварцевание, сульфидизация, карбонатизация. Субвулканический комплекс обширен и представлен породами от андезито-базальтов до риолитов. Породы массивные, практически не подверженные вторичным изменениям. Из-за высокой прочности они хорошо выражены в рельефе, образуя уступы, гривки, часто наблюдаются в элювиальных отложениях. Четвертичные отложения занимают значительную часть площади – более 30 %. Мощность мерзлоты в некоторых случаях достигает более 30 м, что искажает результаты геофизических работ, резко увеличивая сопротивление пород (рис. 1).

Тектоника участков «Бончок» и «Солнечный» сложная. Определяющим направлением разломов является субширотное, характеризующее зону древнего заложения. Они расположены в долине руч. Салакит и устанавливаются по геофизическим данным (рис. 2). Кроме того, субширотное направление представлено двумя параллельными зонами, Северной и Южной, которые отчетливо проявлены как в магнитном – локальный минимум на фоне градиентной зоны, так и в электромагнитном – градиентная зона перехода высоких значений ρ_k в низкие (рис. 3, а, б).

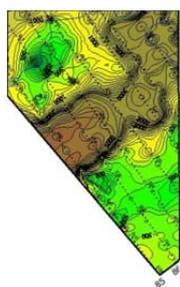


Рис. 1. Проявление мерзлоты в карте изолиний поля кажущегося сопротивления ρ_k .

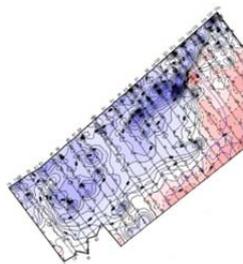


Рис. 2. Проявление субширотного разлома в магнитном поле

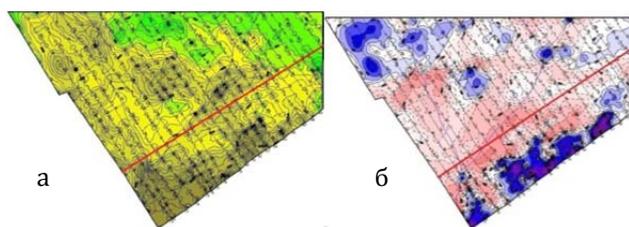


Рис. 3. Проявление субширотных зон разломов в физических полях:

а – проявление южной субширотной зоны в поле ρ_k на фоне градиентной зоны; б – проявление южной субширотной зоны в магнитном поле на фоне градиентной зоны. Прямая линия – ось зоны разлома

Данные рудопроявления отнесены к малосульфидному золото-кварцевому близповерхностному типу золото-серебряной формации.

Была проведена комплексная интерпретация аномалий T , ρ_k и φ . Для нормирования этих параметров воспользуемся формулами Вахромеева Г. С. [1]:

$$\rho'_k = \frac{\ln \rho_k - \ln \bar{\rho}_k}{S_{\ln \rho_k}}; \quad T' = \frac{T - \bar{T}}{S_T}; \quad \varphi' = \frac{\varphi - \bar{\varphi}}{S_\varphi},$$

где ρ_k – удельное электрическое сопротивление, T – магнитная индукция, φ – фазовый параметр вызванной поляризации, $\bar{\rho}_k$, \bar{T} , $\bar{\varphi}$ – среднее арифметическое, S – среднее квадратичное.

В процессе интерпретации осуществляется расчет и анализ поля комплексного показателя [2] (рис. 4, а, б).

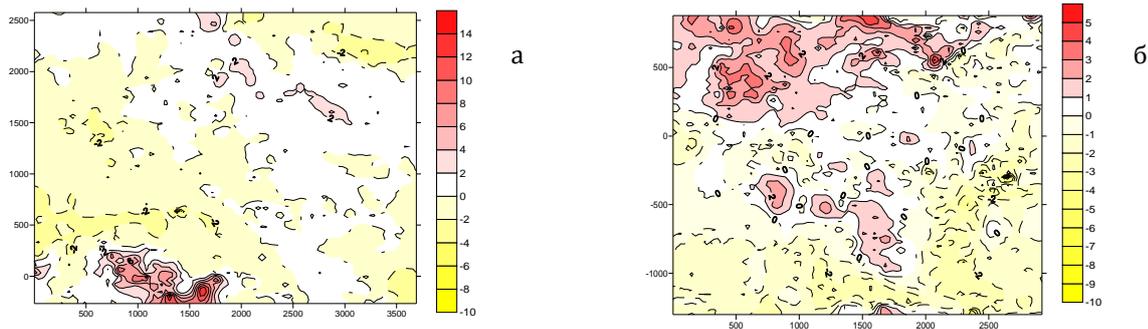


Рис. 4. Карты изолиний комплексного показателя:

а – карта изолиний комплексного показателя ($T' + \varphi' - \rho'_k$) участка «Бончок»; б – карта изолиний комплексного показателя ($T' - \varphi' + \rho'_k$) участка «Солнечный»

Месторождения – это редкое явление. В методе редких сочетаний (МРС) минимальные значения суммы вероятностей отвечают аномальным редким сочетаниям всех использованных признаков, т.е. являются индикаторами наличия редко встречающихся геологических ситуаций (рис. 5, а, б) [2].

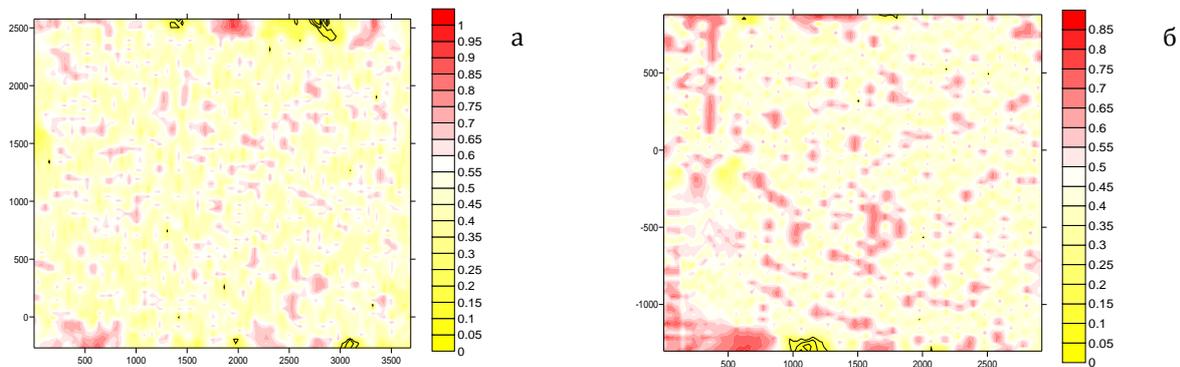


Рис. 5. Карты изолиний параметра МРС:

а – карта изолиний параметра МРС участка «Бончок»; б – карта изолиний параметра МРС участка «Солнечный»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вахромеев Г. С., Давыденко А. Ю. Моделирование в разведочной геофизике. М.: Недра, 1987. 192 с.
2. Долгаль А. С. Компьютерные технологии обработки и интерпретации данных гравиметрической и магнитной съемок в горной местности. Абакан: ООО «Фирма-МАРТ», 2002. 188 с.

КАРОТАЖ НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ КНД-М ДЛЯ ПРЯМОГО КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УРАНА В СКВАЖИНАХ

ДАВЫДОВ Ю. Б., ТАЛАЛАЙ А. Г., САВИН Е. А.
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

При добыче урана методом подземного выщелачивания содержание урана в продуктивной залежи все время изменяется, поэтому необходим постоянный контроль над содержанием урана в процессе его выщелачивания из залежи. Для управления технологическим процессом выщелачивания необходимо иметь сведения о текущей ураноносности эксплуатируемых залежей в условиях естественного залегания, контролировать качество и промышленную ценность руды, разделять кондиционные и забалансовые руды. 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.

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 индуцируемых нейтронов пропорционален содержанию урана в среде. Каротаж нейтронов деления мгновенных позволяет непосредственно определять содержание урана в недрах, исключая влияние других продуктов распада урана в скважинах, заполненных грунтовыми водами, слабокислыми, слабощелочными растворами или буровым раствором. Одновременно указанный метод позволяет определять массовую долю радия (в эквиваленте урана) по данным гамма-каротажа естественной радиоактивности. Таким образом, КНД-М позволяет исключить при дистанционном измерении погрешности, вызванные нарушением радиоактивного равновесия между продуктами распада урана, обусловленное их различной миграционной способностью.

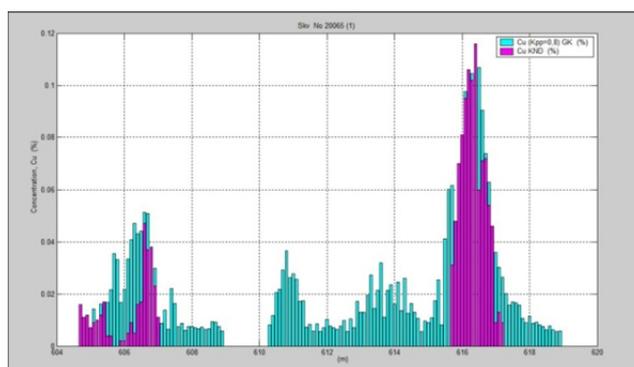


Рис. 1. Различия между показаниями методов ГК и КНД-М на одном из месторождений Казахстана

Приведенная выше диаграмма (рис. 1) наглядно показывает неприемлемость использования для подсчета запасов и контроля за отработкой месторождений традиционного γ -каротажа, который требует дополнительных исследований по изучению радиологических условий каждого месторождения, а в отдельных случаях конкретных залежей и даже

подсчетных блоков. Вариантом однозондовой аппаратуры КНД является аппаратура АИНК-60. Использование современных генераторов нейтронов позволило значительно снизить статистические погрешности измерений, однако остался нерешенным вопрос об учете при интерпретации литологических факторов (влажности и т. д.). На сегодняшний момент поправки за влажность приняты общими по месторождению и вносятся на основании априорных полученных данных по монолитам керна. В случае достаточно больших вариаций влажности по продуктивным интервалам такой подход приводит к возникновению неконтролируемых погрешностей. Пример возникновения погрешностей из-за недоучета этого фактора приведен на Рис. 2. Интерпретировались данные метода КНД-М, проведенного в контрольно-поверочной скважине уранового месторождения в продуктивном пласте с известной мощностью и содержанием урана. Среднее значение влажности для этого горизонта принято на уровне 18 %. Полученная для среднего значения влажности погрешность метропроцента по аномальному интервалу превышает допустимую согласно в 2 раза.

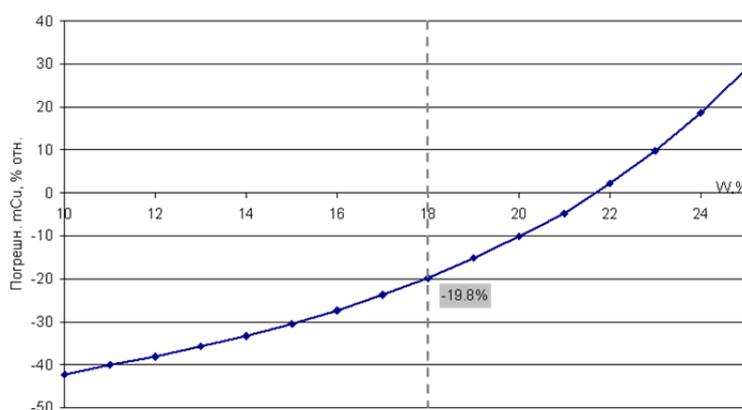


Рис. 2. Ошибки в интерпретации метода КНД-М при различных значениях априорно заданной влажности

Очевидно, что для корректной интерпретации данных КНД-М необходимо иметь верные данные о влажности горных пород, составляющих продуктивные горизонты. Исходя из этих выводов в 2006 г. ОАО НПП «ВНИИГИС» (г. Октябрьский) совместно с ИИСМС УГГУ (г. Екатеринбург) разработали многозондовые комплекты скважинной аппаратуры КНД-53 и КНД-60, включающей в себя блок мониторинга выхода генератора, детекторы надтепловых и тепловых нейтронов (импульсный нейтрон-нейтронный каротаж) и модуль гамма-каротажа. По результатам полевых испытаний скважинной аппаратуры была создана программа комплексной интерпретации данных КНД-М. В основу программного обеспечения положены интерпретационные зависимости для методов КНД-М и ИННК-Т, полученные в ходе математического моделирования скважинного прибора КНД-48, выполненного доктором физико-математических наук профессором МГА А.Л. Поляченко. За счет использования дополнительных зондов появилась возможность определения влажности и глинистости горных пород. В обработки используются временные спады потоков тепловых и надтепловых нейтронов и далее времена жизни. Исходя из предположения о том, что плотность глинистых минералов равна плотности скелета горной породы, можно оценить открытую пористость. Сопоставление данных каротажа аппаратурой КНД-60 с паспортными данными контрольно-поверочной скважине, позволило оценить среднюю погрешность измерения подсчетных параметров по рудному интервалу. Содержания урана в контрольных точках рудного пересечения, как не превышающую $\pm 7\%$ отн., погрешность оценки линейных запасов по рудному интервалу при этом не превысила $\pm 5\%$ отн. Кроме того, оценивалась и точность определения литологических параметров: для влажности – около 5% отн., для глинистости – около 3% отн.

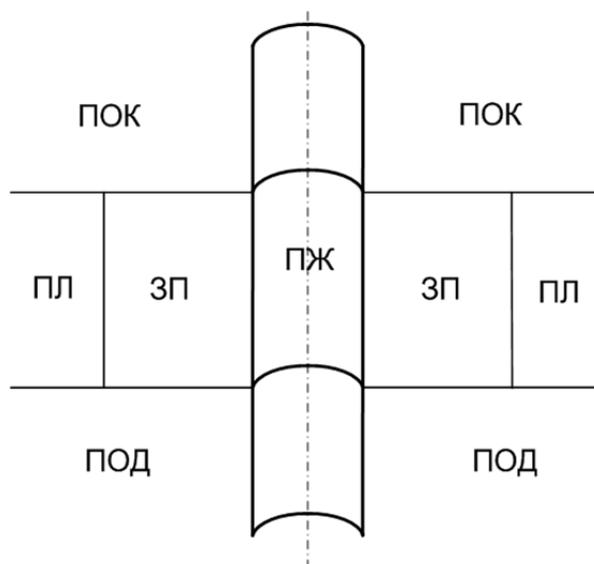
ПОТЕНЦИАЛ СПОНТАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ (ПС) НА ОСИ СКВАЖИНЫ И ФУНКЦИИ ГРИНА ДЛЯ РАСЧЕТА ПОТЕНЦИАЛА ПС

ИСЛАМГАЛИЕВ Д. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Одной из задач, решаемой методом ПС, является выделение в изучаемом разрезе пористых пластов-коллекторов и оценка величины их пористости. Для ее решения необходимо перейти от значений электрического потенциала ПС, измеренного на оси скважины напротив пласта-коллектора, к истинной величине адсорбционного потенциала двойного слоя, образующегося на границе пласт-скважина, который связан с фильтрационно-емкостными характеристиками пород, слагающих пласт. Переход осуществляется введением в измеренное значение электрического потенциала поправочных коэффициентов за влияние физико-геометрических факторов при помощи палеток Шлюмберже [1, 2, 3] или электронных палеток [4].

Рассматриваемой физико-математической моделью является модель покрывающего (ПОК) продуктивного пласта с непроницаемой частью пласта (НП) с зоной проникновения (ЗП) и подстилающего (ПОД) пласта и промывочной жидкости (ПЖ) в скважине. В общем случае это пачка электрически неоднородных по УЭС, коэффициенту течения пластов различной и коэффициенту пористости мощности пересеченных скважиной. Скважину можно рассматривать как бесконечный цилиндр постоянного радиуса (см. рисунок).



Модель покрывающих (ПОК) и подстилающих (ПОД) пород, продуктивного пласта (ПЛ) и зоны проникновения (ЗП)

В общем случае измеряемое в скважине электрическое поле (потенциал или его вертикальный градиент) состоит из трех составных частей: первая – электрическое поле, создаваемое адсорбционным потенциалом; вторая – электрическое поле фильтрации флюида в проницаемых породах и третья – электрическое поле диффузии раствора солей [5].

Если $r_i(\rho, \varphi, z)$ и $r_j(\rho_0, \varphi_0, z_0)$ координаты точек наблюдения и точки объема соответственно, рассматривая случай осевой симметрии [6]. Выполним интегрирование и в

результате компоненты вектор-функция Грина и компоненты тензорной функции Грина для расчета потенциала на оси скважины примут вид [3]:

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

$$G_{zz_0} = -4 \int_{\rho_{01}}^{\rho_{02}} \frac{E \cdot (z - z_0) \cdot \rho_0 d\rho_0}{R_1^2 \cdot R} \Big|_{z_{01}}^{z_{02}}, \quad G_{\rho\rho_0} \approx 8 \cdot \operatorname{arctg} \frac{\Delta z}{\Delta \rho},$$

$$G_{\rho z_0} = \frac{2}{\rho} \int_{\rho_{01}}^{\rho_{02}} \left[\frac{R_2^2}{R_1^2} \cdot E - K \right] \frac{\rho_0 d\rho_0}{R} \Big|_{z_{01}}^{z_{02}}, \quad G_{z\rho_0} = -2 \int_{\rho_{01}}^{\rho_{02}} \left[\frac{R_3^2}{R_1^2} E - K \right] \frac{d\rho_0}{R} \Big|_{z_{01}}^{z_{02}},$$

где K, E – полный эллиптический интеграл второго рода,

$$K = \int_0^{\pi/2} \frac{d\beta}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \beta}}, \quad E = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \beta} \cdot d\beta, \quad k^2 = \frac{4\rho\rho_0}{(\rho + \rho_0)^2 + (z - z_0)^2} = \frac{4\rho\rho_0}{R^2},$$

$$R^2 = (\rho + \rho_0)^2 + (z - z_0)^2, \quad R_1 = \sqrt{(\rho - \rho_0)^2 + (z - z_0)^2},$$

$$R_2 = \sqrt{\rho_0^2 - \rho^2 + (z - z_0)^2}, \quad R_3 = \sqrt{\rho^2 - \rho_0^2 + (z - z_0)^2}.$$

Исследуем возникающие особенности.

Пусть $F(G_{\rho_0})$ значение G_{ρ_0} в особенности и $t = z - z_0, \rho = \rho_0 = 0$, то $F(G_{\rho_0}) = 0$.

Пусть $F(G_{zz_0})$ значение G_{zz_0} в особенности и $t = z - z_{0i}, \rho = \rho_{0j} = 0$, то $F(G_{zz_0}) = 2\pi$.

Пусть $F(G_{z\rho_0})$ значение $G_{z\rho_0}$ в особенности и $z = z_{0i}, \rho = 0, \rho_{0j} \rightarrow 0$, используя свойства пределов, то $F(G_{z\rho_0}) = 2\pi \cdot (\ln 2 - 1)$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дахнов В. Н. Интерпретация результатов исследований разрезов скважин. М.: Гостоптехиздат, 1962. 547 с.
2. Итенберг С. С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. М.: Недра, 1987. 375 с.
3. Кормильцев В. В., Ратушняк А. Н. Теоретические и экспериментальные основы спонтанной поляризации горных пород в нефтегазовых скважинах. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 160 с.
4. Исламгалиев Д. В. Электронные палетки Шлюмберже для интерпретации каротажа скважин методом спонтанной поляризации (ПС) // Международный научно-промышленный симпозиум «Уральская горная школа – регионам». Екатеринбург: УГГУ, 2010. С. 66-68.
5. Исламгалиев Д. В., Кузьмичев О. Б., Ратушняк А. Н. Вклад электрического фильтрационного потенциала в самопроизвольный при интерпретации каротажа спонтанной поляризации // НТВ «Каротажник», вып. 2. 2012. Тверь: Ассоциация «АИС», 2012. С. 49-55.
6. Нейман Л. Р., Калантаров П. Л. Теоретические основы электротехники. Изд. 5-е. М. – Л.: Госэнергоиздат, 1959. 232 с.

ВЫДЕЛЕНИЕ ПЛАГИОКЛАЗИТОВЫХ ЖИЛ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА КАЧКАНАРСКОМ ГОКЕ

ЛУЗЯНИН П. В.¹, БУЗМАКОВ В. Н.²

¹ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»,

²Качканарский горно-обогатительный комбинат «Ванадий»

Руда Гусевогорского месторождения, обрабатываемая Качканарским ГОКом, представляет собой сложное полихронное образование [1]. На заключительном этапе кристаллизации по контракционным трещинам образовались жилы, сложенные в основном плагиоклазом [2]. Кроме того, встречаются также жилы, сложенные гусевитами, габбро-пегматитами и анортозитами. Последний тип руд относится к группе габбро, состоящего почти из плагиоклаза с ничтожным содержанием металлов. Мощность безрудных жил – от нескольких миллиметров до 20-30 м. Основной объём мощности жильных пород 80 %, разбросан в интервале 0,4-2,5 м. При отработке горной массы жилы малой мощности менее 2 м попадают в руду и разубоживают её. На Качканарском ГОКе для снижения разубоживания руды применяется селективная выемка участков с мощностью жил более двух метров.

Для определения содержания железа в руде на месторождении применяется каротаж магнитной восприимчивости (КМВ) [3]. Измерения выполняются каротажной станцией «КАРЬЕР-2М» в буровзрывных скважинах по сети 5×5 метров. Данные измерений регистрируются каждые 0,1 м по всему стволу скважины. Одной из проблем является определение массовой доли плагиоклазитовых жил и процента жильных пород, поступающих с рудой на обогащение.

На первой стадии обогащения, сухой магнитной сепарации (СМС), ведется извлечение пустой жильной породы. Для отсека пустой породы в магнитном сепараторе задаётся определенный наклон делителя. В зависимости от процентного содержания пустой породы в потоке руды меняется положение делителя. На главном конвейере, идущего с цеха дробления, установлена «Башня проб», которая автоматически каждые два часа отбирает пробу для определения состава руды, поступающей на обогащение, в том числе и процент жильных пород. Основная задача состоит в том, чтобы оперативно менять параметры сепаратора в зависимости от количества безрудного компонента в раздробленной горной массе. За двухчасовой период дробится до трёх тысяч тонн с разных забоев, и поэтому на СМС происходит разубоживание или потери железной руды.

Рудоиспытательной лабораторией и службой геолого-геофизического сопровождения горных работ были проведены исследования по оценке доли безрудной массы по геофизическим данным.

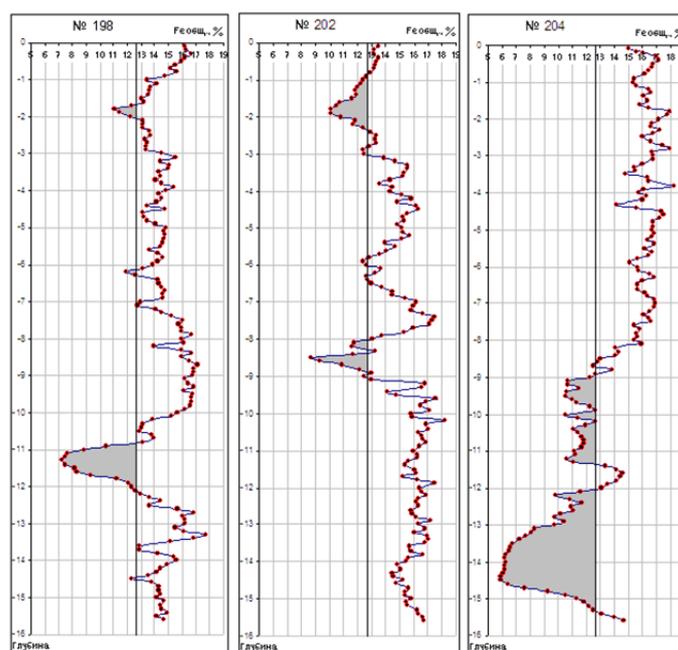
При бурении трёх скважин были отобраны шламовые пробы по всей длине скважины. По данным шламовых проб проведён минералогический анализ, результаты которого приведены в таблице.

Из анализа таблицы видно, что в скважине 198 доля жильных минералов составляет 9,2 %, в скважине 202 – 19,5 %, в скважине 204 – 35,5 %. Для определения доли жильных минералов по данным КМВ необходимо было определить величину значения железа, ниже которой можно говорить о жильных минералах.

Проведен анализ кривых КМВ (см. рисунок). Отношением доли жильных минералов ко всему объёму данных по скважине определяем интервал по каждой кривой КМВ, соответствующий доле жильных минералов. При величине соответствия доле жильных минералов было определено значение доли железа. По данным трёх приведённых скважин с различным объёмом пустой породы величина соответствия железа одинакова и составляет 12,6 %.

Минеральный состав пород

Минерал	Скв. 198	Скв. 202	Скв. 204
Плагиоклаз	8,5	17,7	31,3
Кварц	0,7	1,8	4,2
Цоизит	1,2	0	0,3
Оливин	0,8	1,3	3,5
Амфибол	3	4,9	6,6
Диаллаговый пироксен	57,6	47,1	36,5
Серпентин	0,9	1,2	2
Верлит (неразделённый)	0,1	0,1	0,6
Магнетит	19,7	21,4	12,7
Ильменит	7,5	4,5	2,3



Кривые КМВ с выделенными безрудными участками

Таким образом, при интерпретации данных КМВ для определения жильных минералов необходимо принять величину определения железа общего 12,6 %. Всё, что находится ниже данной величины по кривой КМВ, будет считаться жильными минералами. Длина данных отрезков складывается по их сумме, относительно глубины скважины определяется доля жильных минералов по конкретной скважине.

Отрабатывая определённый блок и зная количество жильных пород в горной массе, можно сократить потери и разубоживание железной руды на стадии сухой магнитной сепарации за счёт оперативного изменения технических параметров магнитного сепаратора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов О. К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала: (Минералогия, петрология, генезис). Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1997. 488 с.
2. Фоминых В. Г. [и др.]. Петрология и рудогенезис Качканарского массива / В. Г. Фоминых, В. П. Краева, Н. В. Ларина. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. 84 с.
3. Кудрявцев Ю. И., Сараев А. К. Каротаж магнитной восприимчивости. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. 240 с.

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ «PLAXIS» ПРИ ПРОХОДКЕ ТОННЕЛЕЙ В СОЧИ

ШИНКАРЮК В. А., ВЛАСОВ С. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Во время со строительства транспортных тоннелей в пределах г. Сочи в связи с особенностями районов работ возникает необходимость проводить для безопасной проходки тоннелей горный мониторинг с целью выяснения опасных участков. Для достижения этой цели используются не только полевые методы (например, сейсморазведка) с последующей интерпретацией, но и численно-программное моделирование с использованием разного программного обеспечения.

Ниже представлен пример расчета напряженно-деформированного состояния горного массива при проходке транспортного тоннеля № 3а в г. Сочи с использованием программного обеспечения «Plaxis». На рис. 1 представлен исходная модель для расчета. Тоннель проходит через Сочинскую свиту, состоящую в основном из аргиллитов с разными характеристиками. Выше аргиллитов находятся суглинки и глины.

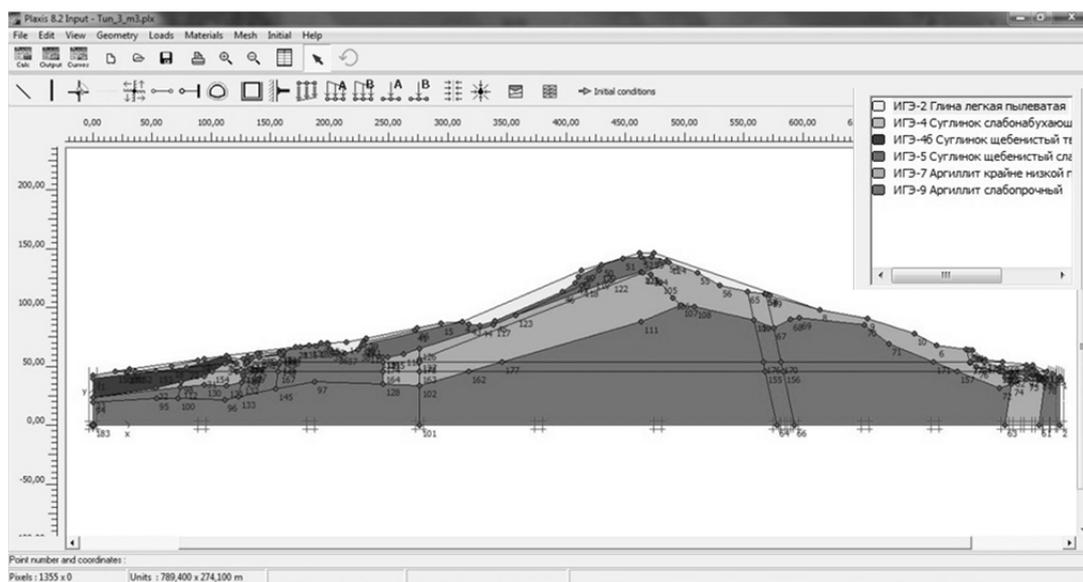


Рис. 1. Продольный разрез тоннеля № 3а

В тоннеле № 3 а с целью мониторинга установлены датчики линейной деформации для определения напряженно-деформированного состояния крепей и обделок в натуральных условиях по смещению контура выработки и напряжениям в конструкциях. На основе информации, полученной с датчиков, составляются таблицы. В качестве примера представлены показания датчиков, установленных в районе пикета № 72+31 (см. таблицу).

Результат опроса датчиков напряжений в тоннеле № 3а на ПК 72+31

Номер датчика	Дата снятия показаний	$t, ^\circ\text{C}$	Гц	Длина условного базиса, мкм	Напряжения $\Delta\sigma$, МПа
Т3аДН6	14.01.2012	8	420	820	
Т3аДН7	14.01.2012	14,1	1256	7119	
Т3аДН8	14.01.2012	10,7	405	1107	
Т3аДН6	27.01.2012	6,6	462	815	-0,15
Т3аДН7	27.01.2012	8,9	1367	7133	0,45
Т3аДН8	27.01.2012	7,9	527	1061	-1,43
Т3аДН6	27.01.2012	12,6	465	826	0,21
Т3аДН7	27.01.2012	10,0	1367	7129	0,32
Т3аДН8	27.01.2012	8,7	529	1069	-1,20

На рис. 2, 3 представлены вертикальные и горизонтальные компоненты напряжений, вычисленных в программе «Plaxis» на основе модели вязкоупругой среды (модель Мор-Кулона). Использование модели Мор-Кулона обусловлено хорошим набором параметров, которые можно задать.

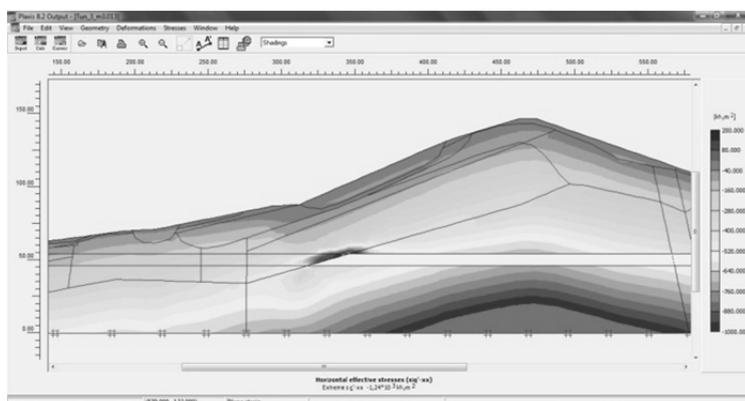
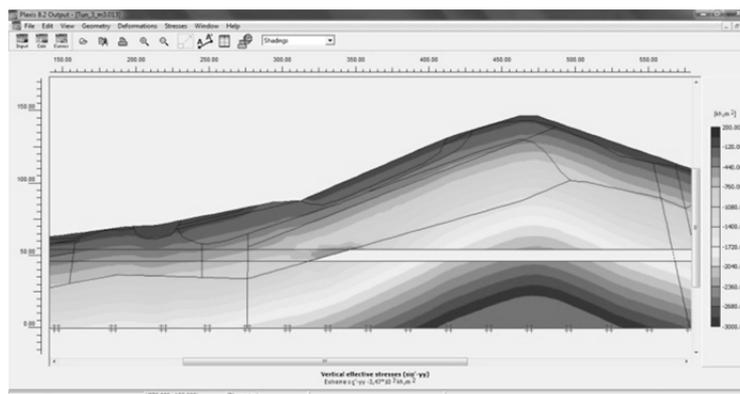


Рис. 2. Вертикальные напряжения в тоннеле №3а на ПК 72+31

Рис. 3. Горизонтальные напряжения в тоннеле № 3а на ПК 72+31



Программа «Plaxis» является на сегодняшний день одним из хороших инструментов для решения разных геомеханических задач. Но несмотря на возможности программы, моделирование остаётся приближённым ввиду специфики проблем и задач.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ АНИЗОТРОПИИ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА ОБРАЗЦАХ ПИРРОТИНОВ

ИВАНЧЕНКО С. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Пирротин [1] это магнитный колчедан, минерал из класса сульфидов состава Fe_nS_{n+1} . Магнитные свойства меняются в зависимости от состава: гексагональные (бедные серой) пирротины — парамагнитны, моноклинные (богатые серой) — ферромагнитны. А состав, в свою очередь, зависит от условий их образования. Интересной особенностью является то, что отдельные минералы пирротина обладают особой магнитной анизотропией — парамагнетизмом в одном направлении и ферромагнетизмом в другом, перпендикулярном первому.

Перед автором статьи были поставлены следующие задачи:

- изучить проявление эффекта магнитоакустической эмиссии на образцах пирротина.
- обнаружить наличие магнитоакустической анизотропии на образцах пирротина.

В 1924 г. Хипс обнаружил, что при перемагничивании ферромагнетика, помимо скачков Э.Д.С. в намотанной на образец катушке, происходит образование акустического шума, в результате чего каждый скачок является источником механических колебаний всего образца. На основе многочисленных экспериментов выяснилось, что явление магнитоакустической эмиссии (МАЭ) связано с процессами изменения доменной структуры материалов. Природные ферромагнетики, кристаллизуясь в различных термодинамических и физико-химических условиях, в своём химическом составе и магнитной структуре несут генетическую информацию об этих условиях. Источником магнитоакустической эмиссии при перемагничивании ферромагнетиков, по современным представлениям, являются локальные участки магнитоакустических деформаций, происходящих при перестройке доменных границ. Впервые работы по применению МАЭ для изучения природных ферромагнетиков начались в Институте геофизики УрО РАН и продолжают по настоящее время [2].

В ходе работы были рассмотрены образцы пирротина с месторождения «Новопесчанка». Для детального исследования были отобраны 3 из числа имевшихся образцов.

Методика снятия показаний магнитоакустической эмиссии более подробно описана в литературе [3]. При измерении магнитоакустической эмиссии амплитудное значение силы тока, подаваемого на катушки электромагнита, была равна ± 5 А, частота перемагничивания 0,1 Гц, а частота принимающего сигнала 130 и 142 кГц.

Измерение сигнала МАЭ образцов было выполнено по трём осям (x, y, z).

Образцу ЗПЗ-23 характерно высокое содержание пирротина, с небольшой примесью магнетитов [4]. Образец имеет слабый магнитоакустический сигнал по всем трём осям. Проявляется устойчивая форма кривой с нечётко выраженными максимумами. Возможно, МАЭ проявляется за счёт небольшого содержания магнетита в образце.

Образец № 10 даёт сильный магнитоакустический сигнал (рис. 1) по всем трём осям. Проявляется кривая с двумя максимумами, один из которых ярко выражен, другой не сильно. Этому образцу характерно содержание пирротина примерно 50 %.

У третьего образца № 11, имеющего всего лишь 30 % пирротина, проявляются анизотропия. То есть магнитоакустический сигнал по оси ОХ – сильный, с двумя чётко выраженными максимумами (рис. 2), а по осям ОУ и ОZ проявляется, наоборот, сигнал низкой амплитуды, с нечёткими максимумами, как для образца ЗПЗ-23.

Таким образом, изучение кривых МАЭ месторождений «Новопесчанка» (Южная залежь, Западная залежь) позволяет выделить несколько особенностей:

- МАЭ пирротинов проявляет ярко выраженную анизотропию, которая зависит от магнитной анизотропии минерала, являющегося источником акустического сигнала.
- Образование двух максимумов в образце № 11 можно объяснить двумя причинами: образование первого максимума происходит за счёт смещения доменных границ (МАЭ 1-го

рода), а второго – вращением векторов магнитных моментов (МАЭ 2-го рода); это может быть связано с присутствием в образце других магнитных минералов.

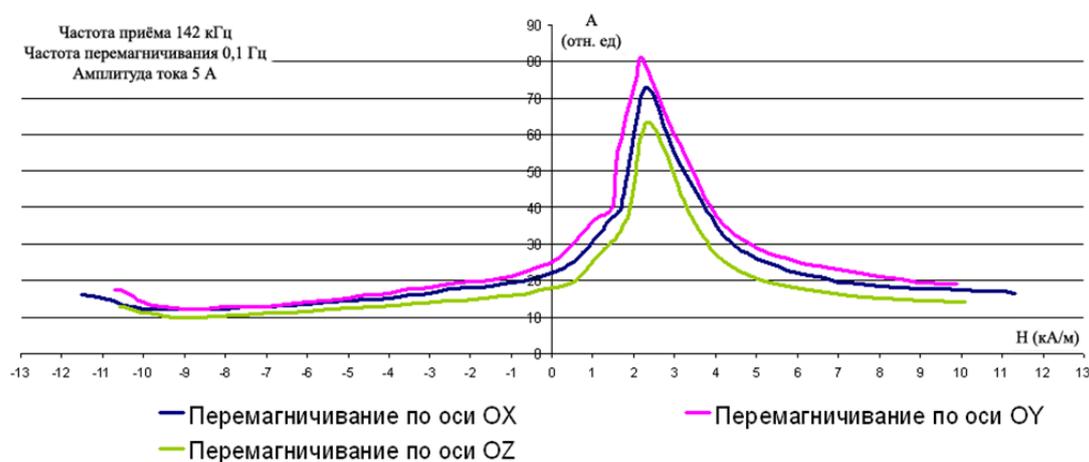


Рис. 1. Зависимость сигнала магнитоакустической эмиссии от поля для образца № 10 по трём разным осям. Чувствительность 3,0 мкВ

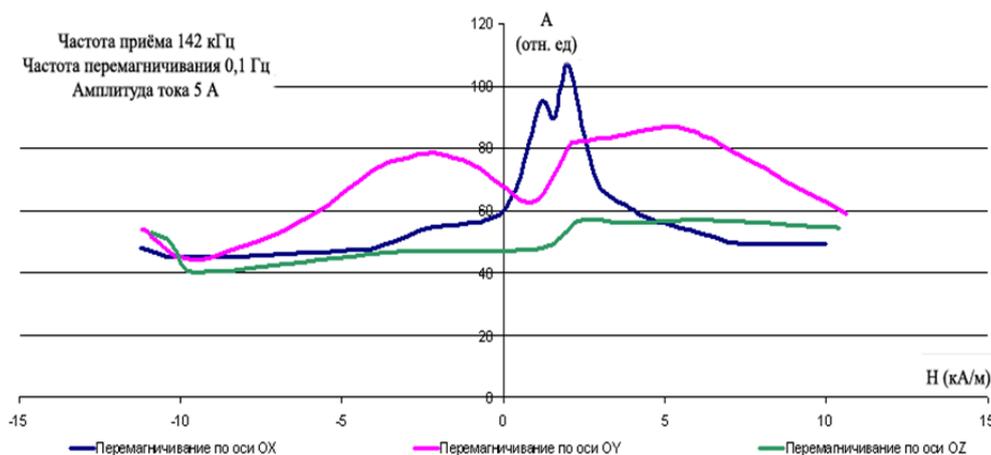


Рис. 2. Зависимость сигнала магнитоакустической эмиссии от поля для образца № 11 по трём разным осям. Чувствительность 1,0 мкВ

Ясно, что потребуются дополнительные исследования, прежде чем будет достигнуто полное понимание данного явления. Тем не менее, это весьма существенная область для изучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горная энциклопедия [Электронный ресурс]: <http://www.mining-enc.ru/p/pirrotin/> (2008).
2. Кумейшин В. Ф., Лаптев В. В. [и др.]. Аппаратура для регистрации скачков Баркгаузена с помощью пьезодатчика // II Всесоюзная школа-семинар «Эффект Баркгаузена и его использование в технике». Калинин, КГУ. 1980. С. 147-153.
3. Иванченко В. С., Глухих И. И. Экспериментальное исследование магнитоакустической эмиссии природных ферромагнетиков. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 92 с.
4. Иванченко В. С., Глухих И. И. [и др.]. Магнитоакустическая эмиссия магнетитовых руд Песчанского месторождения // Уральский геофизический вестник. Екатеринбург: УрО РАН, 2007.

МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ БЛОКОВ ГУСЕВОГОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

КОЩЕЕВА Е. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Комплекс геофизических методов, которым проводится эксплуатационная разведка Гусевогорского месторождения, включает в себя каротаж магнитной восприимчивости по буровзрывным скважинам и площадную магнитную съемку по той же сети. Измеряемые магнитные поля сложные, нерегулярные и резко переменные (наличие множества мелких локальных аномалий разного знака). Это обусловлено петрографической дифференциацией массива, широким диапазоном изменения магнитных свойств, неравномерностью распределения магнетита.

На одном из блоков, расположенном на юге Северного карьера, была проведена оценка мощности магнитоактивного слоя регистрируемого наземной съемкой. Такая оценка ранее проводилась только для одного эксплуатационного блока на этом месторождении. В пределах блока находится 10 съемочных профилей, на которых выделена локальная составляющая (рис. 1а). Магнитная индукция поля T вычислялась на высотах 5, 10 и 15 м.

На высоте 5 м поле менее изрезанное, амплитуда уменьшается в 2 раза. На высоте 10 м амплитуда уменьшается в 3 раза. На высоте 15 м амплитуда уменьшается в 5 раз (рис.1, б). На высоте 20 м поле не отражает строения исходного. Следовательно, магнитная съемка отражает особенности верхнего слоя разреза мощностью 15-20 м, что согласуется с данными предшественников. Тенденции, характерные для одного профиля, распространяются на весь блок и на все месторождение.

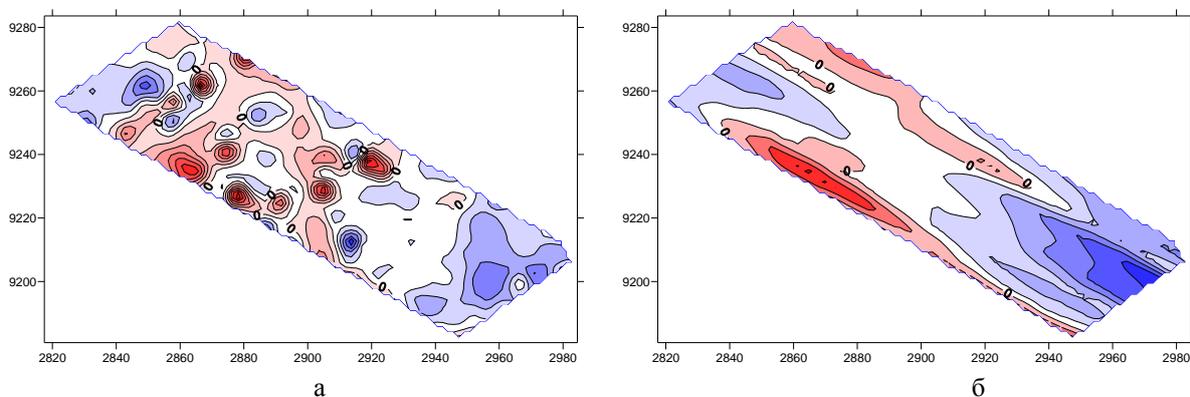


Рис. 1. План изодинам

a – измеренное поле (сечение изодинам – 1000 нТл); b – вычисленное на высоте 15 м (сечение изодинам 500 нТл)

По результатам химического анализа и измерениям магнитного поля составлено уравнение регрессии, имеющее вид $Fe = 0,0003 \times \Delta T + 15,646 \%$. Объем выборки $n=308$, коэффициент корреляции $r=0,36$. Среднее содержание железа в блоке – 15,8 %. Среднеквадратическая погрешность определения содержания железа – 2,07 %. Статистическая модель существует не только для отдельных блоков, но и рассчитана для всего карьера. Уравнение регрессии имеет вид $Fe = 89,936 \times \chi + 12,591 \%$, среднеквадратическая погрешность определения железа – 1,34 %, коэффициент корреляции $r = 0,46$, среднее содержание железа по карьере – 15,3 %. В течение длительного времени разработки карьера коэффициенты

уравнения регрессии постоянно уточняются*. Проведение площадной магнитной съемки целесообразно для локализации рудных объектов и оценки их прогнозных ресурсов.

Для более полного объяснения магнитных аномалий необходимы сведения о намагниченности горных пород. Для восточной части Гусевогорского месторождения характерно преобладание остаточной намагниченности над индуцированной, причем $I_n > I_i$ в несколько раз. Направление вектора I_n обратно современному магнитному полю. Это находит свое отражение в отрицательных магнитных аномалиях. Наиболее резкое превышение значений I_n над I_i наблюдается у оруденелых пород.

Аналитический расчет значений индуцированной намагниченности и остаточной намагниченности на основе средних значений фактора Кенигсберга и индукции магнитного поля для обратно намагниченных пород показал, что руды должны выделяться интенсивными отрицательными аномалиями, а безрудные породы – положительными аномалиями (рис. 2). В настоящее время интенсивные отрицательные аномалии не выявляются (рис. 3). По данным магнитометрической съемки 1958 г., проведенной Б. И. Соколовым, отрицательные аномалии встречались часто. Это можно объяснить тем, что за длительное время разработки на массив действовала большая динамическая сила, создаваемая взрывами, которая обусловила перемагничивание ферромагнитных минералов.

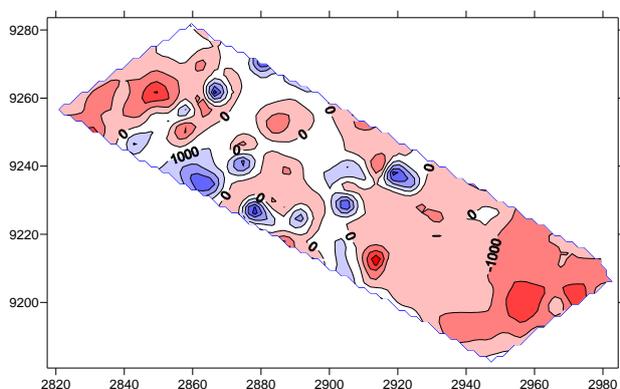
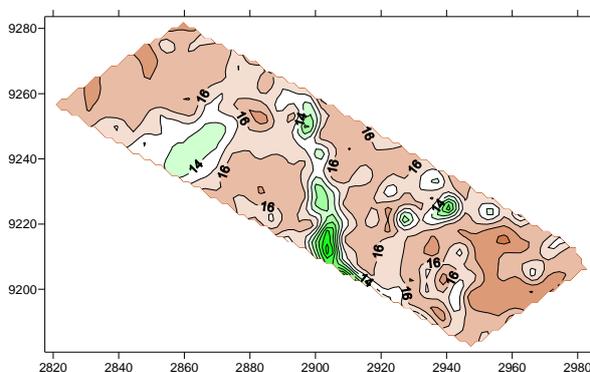


Рис. 2. План изодинам вычисленного магнитного поля при обратном направлении вектора остаточной намагниченности (сечение изодинам – 1000 нТл).

Рис. 3. Истинное содержание железа.



Для подсчета запасов месторождения и его участков, геолого-экономической оценки, решения задач календарного планирования и определения экономически целесообразных контуров отработки не достаточно статистической модели. Необходимо создать мобильную методику формирования детерминированной геолого-геофизической модели, которую будет возможно использовать на всех залежах рудного поля, в том числе и на вводимом в разработку собственно Качканарском месторождении.

* Виноградов В. Б., Лузянин П. В. Магниторазведка масштаба 1:500 // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 35 Междунар. семинара им. Д. Г. Успенского. Сыктывкар, 2007. С. 45-48.

ЛАБОРАТОРНЫЕ И ПРОМЫСЛОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДОБЫВАЕМОЙ НЕФТИ

ЩЕРБАКОВ Г. Ю.

ГБОУ ВПО «Альметьевский государственный нефтяной институт»

Для исследования коэффициента светопоглощения $K_{сп}$ добываемой нефти при геолого-промысловом контроле разработки нефтяного месторождения применяются фотоколориметры различных конструкций, например КФК-3[1]. При этом обычно отбирают пробу нефти на устье скважины и предварительно обезживают ее в лабораторных условиях. Однако отбор устьевых проб нефти производится нерегулярно, их оптические свойства определяются только попутно и редко подвергаются тщательному анализу. Невозможно учесть также различия в свойствах нефти на земной поверхности и в скважине. Создание же и применение автоматизированных фотометрических устройств, размещенных непосредственно в скважине, для непрерывного измерения оптических характеристик добываемой нефти, на наш взгляд, может значительно повысить достоверность не только оптических, но и других геолого-промысловых данных. По данным собственных лабораторных исследований нефти тульских отложений Архангельского месторождения Республики Татарстан авторами выявлены зависимости $K_{сп}$ от величины накопленной добычи нефти и $K_{сп}$ от коэффициента нефтенасыщенности пласта с достаточно высокими коэффициентами аппроксимации [2]. Эти зависимости были успешно применены для подсчета остаточных запасов нефти и подтвердили перспективность разработки скважинного устройства, принципиальная схема которого должна предусматривать возможность автоматизированной регистрации оптических параметров добываемой нефти на забое скважины в заданном интервале длин волн, их первичную обработку и передачу в программируемые системы автоматизированной аппроксимации с геолого-промысловыми данными.

При механизированном способе эксплуатации устройство может устанавливаться непосредственно под насосом с помощью переходника 1. При фонтанном способе эксплуатации может быть спущено в скважину на каротажном кабеле или колонне труб. Устройство может включать следующие основные блоки – приемный 2, фотометрический 3, выкидной блоки 4, блок хранения данных 5, блок беспроводного (проводного) канала связи 6 и блок питания 7. Продукция из скважины поступает в приемный блок, в котором происходит ее подготовка (обезживание и сепарация). Затем в измерительный фотометрический блок, где происходит собственно измерение необходимых параметров в виде аналогового сигнала. В блоке хранения данных сигналы преобразуются в цифровой вид с помощью аналого-цифрового преобразователя АЦП для хранения в резервируемой памяти устройства и (или) они с помощью блока беспроводного (проводного) канала связи передаются на поверхность для последующей обработки.

В скважинных условиях приемный блок должен включать фильтр 12, клапанно-дозировующее устройство 13, поглотители воды и сепараторы газа 14, которые могут представлять собой стационарные устройства в виде гидрофобизированных мембран, адсорбентов или других устройств и отводы для сброса воды и газа 15. Клапанно-дозировующий механизм должен обеспечить дозированную подачу скважинной жидкости в фотометрический блок. Фотометрический блок включает источник светового излучения 8 (например, ксеноновую импульсную лампу), свет которого проходит через монохроматор (призму) 9 для получения

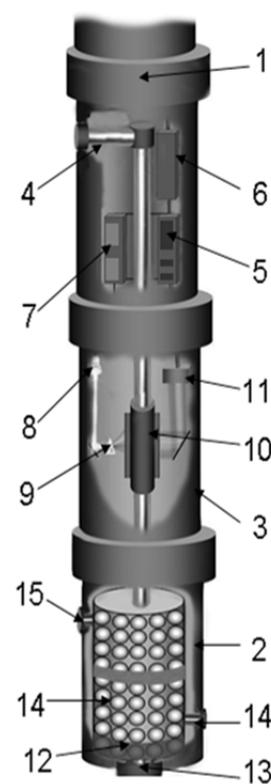


Схема устройства

светового луча заданной длины волны. Затем пучок света направляется через испытуемую жидкость, заключенную в прободержатель 10 и далее в сенсор 11. Рабочая длина прободержателя (аналог рабочей длины кюветы в лабораторных условиях) должна автоматически регулироваться вплоть до возможности создания сверхтонкой пленки исследуемой жидкости. Возможность изменения рабочей длины прободержателя, внутренняя поверхность которого не должна смачиваться скважинными жидкостями, имеет значение, поскольку точность определения толщины слоя исследуемой нефти влияет на точность определения оптических свойств. Монохроматический свет, проходя через нефть, частично отражается и частично поглощается. Интенсивность прошедшего светового луча измеряется фотометрическим сенсором (детектором) 4. В конструкцию устройства может быть включен термостат для поддержания стандартной температуры измерений или определения текущей температуры исследуемой нефти с целью вычисления поправок на влияние температуры. АЦП в блоке 5 осуществляет перевод аналоговых результатов измерений в цифровой вид для длительного хранения в съемной памяти устройства и этот же блок обеспечивает передачу полученных данных на поверхность. При этом в зависимости от способа эксплуатации скважины устройство может быть снабжено блоком проводного (скважины, оборудованные электроцентробежными или винтовыми насосами) или беспроводного (например, в случае оборудования штангово-глубинными насосами, фонтанной эксплуатации, газлифт) канала связи 6. Беспроводной способ передачи данных может осуществляться по импульсам давления или по гидравлическому, акустическому или электромагнитному каналам [3]. Оптические данные в режиме реального времени должны поступать в программный комплекс их хранения и обработки, содержащий также постоянно-обновляющиеся показатели работы скважин и другие показатели разработки месторождения. Программный комплекс должен обеспечивать комплексную геолого-промысловую интерпретацию, например корреляцию оптических данных с накопленной добычей для подсчета остаточных запасов нефти. Работа устройства контролируется внутренним (встроенным) и внешним программным обеспечением. Встроенное программное обеспечение должно обеспечивать работу устройства в тестовом режиме для выбора наиболее оптимального спектра электромагнитного излучения и рабочей длины прободержателя. В автоматизированном режиме должны устанавливаться параметры работы устройства – ширина полосы светового излучения и ее дискретность, фотометрический диапазон, рабочая длина и осуществляться распознавание фаз. Внешнее программное обеспечение необходимо для автоматизированной корреляции измеренных свойств нефти в выбранном спектральном диапазоне с показателями работы скважин, определения параметров точности аппроксимации данных и осуществления обратной связи с устройством, находящимся в скважине, для коррекции режима и параметров его работы.

Дополняя существующие интеллектуальные системы, фотометрическое устройство может значительно улучшить управление разработкой нефтяного месторождения, в том числе в режиме реального времени получать достоверные сведения о запасах и контролировать изменение свойств коллектора и флюидов в процессе разработки месторождения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Девликамов В. В., Мархасин И. Л., Бабалян Г. А. Оптические методы контроля за разработкой нефтяных месторождений. М.: Недра, 1970. С. 21-29.
2. Бурханов Р. Н., Ханнанов М. Т. Перспективы применения оптических исследований для подсчета остаточных извлекаемых запасов нефти // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. Альметьевск: АГНИ, 2011. С. 19-28.
3. Степной В. С. Безгенераторный способ передачи данных забойной телеметрии. Доклады ТУСУРа, № 2, 2010. С. 29-31.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СВЕТОПОГЛОЩЕНИЯ НЕФТИ НА УСТЬЕ СКВАЖИНЫ

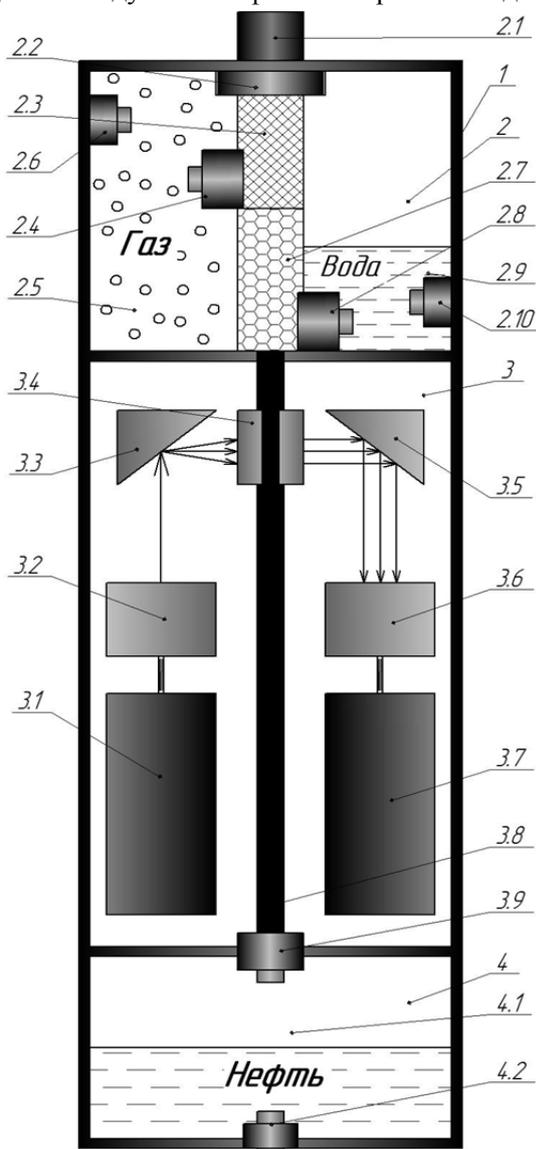
РАУПОВ И. Р.

ГБОУ ВПО «Альметьевский государственный нефтяной институт»

В работе анализируются результаты многочисленных лабораторных исследований плотности, вязкости и оптических свойств – оптической плотности D и коэффициентов светопоглощения $K_{сп}$ проб нефти месторождений различных нефтегазоносных провинций Российской Федерации (18 месторождения Волго-Уральской, Западно-Сибирской, Тимано-Печорской, Прикаспийской и Ангаро-Ленской нефтегазоносных провинций). Для определения плотности нефти ρ использовался набор стандартных ареометров АОН. Вязкость μ определялась с помощью капиллярных вискозиметров ВПЖ-2. Исследования коэффициентов светопоглощения $K_{сп}$ проводились на фотоколориметре UNICO 1200. Статистическая обработка лабораторных данных заключалась в расчетах среднеквадратических отклонений $K_{сп}$, дисперсий вариационного признака $\sigma_{K_{сп}}$ и коэффициентов вариации $V\sigma_{K_{сп}}$ нефти [1] и построении спектральных кривых, представляющих собой зависимости $K_{сп}$, $\sigma_{K_{сп}}$ и $V\sigma$ от длины волны светового излучения. Опытным путем установлено, что наилучшим образом коррелируются плотность, вязкость и среднеквадратические значения $K_{сп}$ светового излучения длиной волны 500 нм. При этом коэффициент аппроксимации корреляции плотности и $K_{сп}$ составляет 0,6083, вязкости и $K_{сп}$ - 0,5866.

Известно, что оптические свойства нефти сопоставляются с содержанием в нефти асфальто-смолистых углеводородов, влияющих на плотность, вязкость и другие физические характеристики нефти. Исследования различных авторов [2,3] доказали тесную взаимосвязь физических и оптических свойств нефти, определенных на лабораторных пробах. Более актуальной, на наш взгляд, является разработка мобильного устройства (рис.) для измерения $K_{сп}$ и оптической плотности нефти непосредственно на устье скважины, что повысит точность и надежность оптического метода геолого-промыслового контроля разработки нефтяного месторождения. Устройство включает корпус 1, приемный 2, фотометрический 3 и выкидной 4 блоки. Приемный блок 2 включает переходное устройство (муфту) 2.1 для присоединения к отводу отбора проб нефти на выкидной линии скважины, клапанно-редукторный механизм 2.2 автоматического регулирования давления и расхода жидкости, подаваемой в устройство. Приемный блок включает также поглотители воды 2.7 и газа 2.5 и водяную 2.9 и газовую 2.5 камеры. Клапанные узлы 2.4 и 2.8 необходимы для регулируемого поступления жидкости и газа в камеры, а краны 2.6 и 2.10 для отбора проб. Обезвоженная и сепарированная в приемном блоке нефть поступает в измерительный фотометрический блок, в котором предусматривается возможность автоматизированной регистрации ее оптических параметров в заданном интервале длин волн и при необходимости автоматизированная аппроксимация с плотностью нефти. Необходимость незначительного количества обезвоженной нефти, поскольку для определения $K_{сп}$ по методу минимизированных измерений достаточно исследовать сверхтонкую пленку, делает эту задачу вполне реализуемой. Фотометрический блок включает источник светового излучения 3.2, свет которого проходит через монохроматор 3.3 для получения светового луча заданной длины волны и проходит через исследуемую нефть в прободержателе переменного сечения 3.4. Монохроматический свет, проходя через нефть, частично отражается и частично поглощается, а прошедшее световое излучение направляется с помощью призмы 3.5 в фотометрический сенсор 3.6, где измеряется его интенсивность. Оптические характеристики нефти определяются автоматически по отношению интенсивностей прошедшего и падающего светового излучений. Спектр используемого электромагнитного излучения имеет принципиальное значение (в лабораторных условиях обычно исследуются растворы нефти в органических растворителях). Нефти с низкой плотностью обычно отличаются низкими значениями $K_{сп}$ и поэтому нередко их исследуют без разбавления в органических растворителях в спектральном диапазоне 400-900 нм. Нефти с

высокой плотностью и вязкостью необходимо исследовать в ближней инфракрасной зоне и инфракрасной зоне. Оптимальным является наличие источника в широком диапазоне электромагнитного излучения и автоматизированный выбор системой наиболее подходящего для исследуемой нефти спектрального диапазона. Принципиальным является также наличие



Мобильное устройство

прободержателя переменной сечения (при лабораторных измерениях соответствует рабочей длине кюветы, в которой исследуется раствор) поскольку точность определения толщины слоя исследуемой нефти влияет на точность определения оптических свойств. Разработка прободержателя, с функцией создания и исследования сверхтонкой пленки нефти, особенно в случае исследования тяжелой и экстратяжелой нефти, является актуальной задачей. В этом случае может исследоваться поток, без разделения его на фазы, а система будет в автоматическом режиме отбраковывать данные, полученные при поступлении в прободержатель газа, воды или различных по составу смесей. Создание устройств с автоматическим определением и изменением сечения прободержателя, наиболее подходящим для определения Ксп исследуемой нефти, было бы наиболее оптимальным. Блок 3.7 может включать аналогово-цифровой преобразователь АЦП для перевода аналоговых измерений в цифровой вид, накопитель для длительного хранения данных и устройство передачи проводными или беспроводными методами измерений, например в электронную базу данных, содержащую постоянно-обновляющиеся сведения по свойствам нефти или другим показателям работы скважин и разработки месторождения в целом. Программное обеспечение устройства должно обеспечивать выбор наиболее оптимального спектра излучения, рабочей длины прободержателя и автоматизированную аппроксимацию измеренных оптических свойств нефти в выбранном спектральном диапазоне с плотностью нефти и показателями работы

скважин [3]. Устройство может значительно улучшить систему геолого-промыслового контроля и управления разработкой нефтяного месторождения, особенно в использовании с другими устройствами, например многофазными расходомерами, позволяя в режиме реального времени получать достоверные сведения об изменении свойств добываемой нефти.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шмойлова Р. А. Теория статистики. М.: Финансы и статистика, 2002. С. 513-517.
2. Девликамов В. В., Мархасин И. Л., Бабалян Г. А. Оптические методы контроля за разработкой нефтяных месторождений. М.: Недра, 1970. С. 21-29.
3. Бурханов Р. Н., Ханнанов М. Т. Перспективы применения оптических исследований для подсчета остаточных извлекаемых запасов нефти // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. Альметьевск: АГНИ, 2011. С. 19-28.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ РАБОТЫ СКВАЖИН ДО И ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТОВ

ХАНБИКОВ В. Р.

ГБОУ ВПО «Альметьевский государственный нефтяной институт»

В настоящее время в ОАО «Татнефть» применяются передовые технологии и современное оборудование, направленные на стимуляцию работы скважин и повышение нефтеотдачи пластов. Одним из эффективных направлений является гидравлический разрыв пластов (далее ГРП), объемы работ по которому в 2010 году увеличились более чем в 2 раза. Прирост среднего дебита после применения ГРП составляет 3,9 т/сут. В целом, с начала применения технологии в Компании выполнено свыше 1400 операции с общим накопленным объемом добычи нефти этим способом более 4,5 млн тонн [1].

В процессе разработки нефтяных месторождений одним из важных параметров, характеризующих свойства остаточной нефти и степень её преобразованности является динамика оптических свойств. Исследование динамики оптической плотности нефти позволяет выявить механизм, за счёт которого обеспечивается дополнительная добыча нефти [2]. Известно, что наиболее чувствительными, достаточно быстро и точно определяемым интегральным параметром нефти является коэффициент светопоглощения K_{sp} , который зависит от содержания в нефти асфальтенов и смол и определяется согласно закону Бугера – Ламберта – Бэра объективным фотоэлектрическим методом при помощи спектрофотометров или фотоэлектроколориметров. Изменение коэффициента светопоглощения нефти позволяет судить о преобладающем процессе: либо в разработку вовлеклись ранее не дренируемые, не преобразованные запасы нефти, и это характеризует увеличение коэффициента охвата воздействием, либо в результате проведения мероприятия происходит увеличение добычи преобразованной остаточной нефти, что говорит об увеличении коэффициента вытеснения. Таким образом, в результате определения оптических свойств может быть точно определён механизм действия метода увеличения нефтеизвлечения и область его эффективного использования.

В данной работе исследуются оптические свойства проб нефти, отобранных до и после проведения ГРП. После отбора образцы нефти были центрифугированы (на заданной скорости и времени) для более лучшего разделения нефти и воды. Затем готовились растворы обезвоженной нефти в толуоле. Для проведения опыта требовалось добавить 0,08 мл нефти в 10 мл толуола. После подготовки растворов с помощью спектрофотометра получили графики поглощения в зависимости от длины волны излучения, по которым провели анализ динамики спектральных характеристик.

Для решения поставленных задач используются величины оптической плотности раствора нефти в видимой и лишь, частично, в ближней ультрафиолетовой (БУФ) и ближней инфракрасной (БИК) областях спектра.

После применения ГРП увеличилось и пластовое давление на участке добывающих скважин, наблюдается уменьшение скин-эффекта. К тому же, дебит скважины №**843 по жидкости увеличился с 10 до 55 т/сут при уменьшении обводнённости с 75% до 20%.

С использованием программного пакета «ROXAR» было выполнено моделирование проведения гидравлического разрыва пласта в терригенных коллекторах. Данная модель даёт представление о процессе создания трещин в поровом пространстве и увеличения проницаемости пород, показывает области дренирования в пласте и позволяет дать комплексную оценку эффективности применения данного технологического метода (рис. 1, 2).

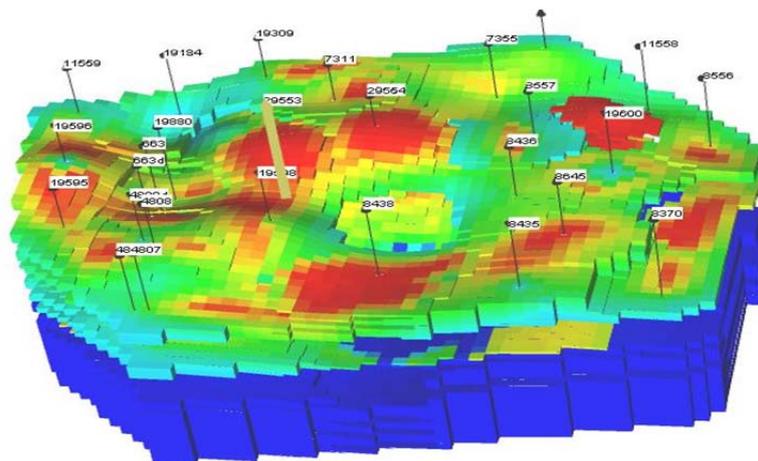


Рис. 1. Модель участка проведения гидравлического разрыва пласта

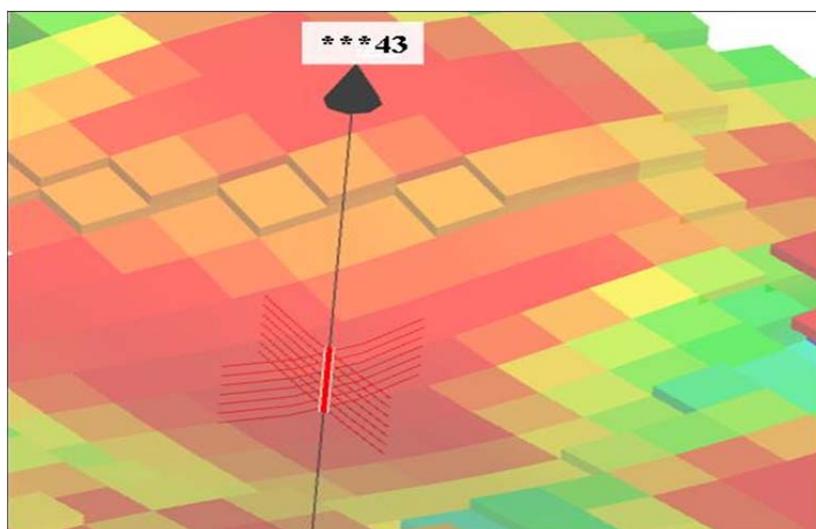


Рис. 2. Создание трещин в пласте после гидравлического разрыва пласта

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

1. Показано, что использование оптических методов контроля за разработкой позволяет выполнить уточнение механизма влияния методов увеличения нефтеизвлечения на процесс вытеснения нефти.
2. Применение оптических методов контроля за технологическими показателями работы скважин до и после проведения ГРП позволяет оперативно внести коррективы в существующую систему разработки участка месторождения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Годовой отчет ОАО «Татнефть» за 2010 год.
2. Ибрагимов Н. Г., Тронов В. П., Гуськова И. А. Теория и практика методов борьбы с органическими отложениями на поздней стадии разработки нефтяных месторождений. М.: ЗАО Изд-во «Нефтяное хозяйство», 2010. 222 с.

**СИСТЕМА ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ
ПОСТУПАТЕЛЬНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НЕБЕСНОГО ТЕЛА
В ПОЛЕ ТЯГОТЕНИЯ НЬЮТОНА**

СУРНЕВ В. Б., КРЮКОВ И. Д.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

В данной статье рассматривается динамическая система, являющаяся частным случаем системы, рассмотренной в известной работе Г. Н. Дубошина [1].

1) Пусть рассматриваемая система содержит два тела Q_0 и Q_1 , причём тело Q_0 – неподвижное, а Q_1 – свободное.

2) Пусть далее тела $\{Q_0, Q_1\}$, входящие в рассматриваемую систему, являются, возможно, неоднородными по вещественному составу, но абсолютно твёрдыми, с известным распределением масс, то есть, функциональная зависимость $\rho_i = \rho_i(x_i^1, x_i^2, x_i^3)$, считается заданной для каждого $i = 0, 1$.

3) Взаимодействие между телами системы происходит по закону всемирного тяготения Ньютона, то есть, силы взаимодействия являются полевыми и могут быть выражены через градиент силовой функции [1, 3].

Из первого предположения следует невозможность столкновения тел системы, то есть из рассмотрения исключается случай $G_0 \cap G_1 \neq \emptyset$, где G_0 и G_1 – области, занятые телами Q_0 и Q_1 соответственно: тело G_1 совершает поступательно-вращательное движение в поле силы тяжести неподвижного тела G_0 .

Если движение тела G_1 рассматривать в абсолютной системе координат – декартовой системе координат $Ox^1x^2x^3$ с ортонормированным репером $\{O, \vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3\}$, связанной с телом G_0 (рисунок), то функции Лагранжа твёрдого тела, совершающего поступательно-вращательное движение, примет следующий вид [1]:

$$L = \frac{1}{2} m \left\| \dot{\vec{R}}_c \right\|^2 + \frac{1}{2} \left\{ I_1 \left(\dot{\varphi} \sin \theta \sin \psi + \dot{\theta} \cos \psi \right)^2 + I_2 \left(\dot{\varphi} \sin \theta \cos \psi - \dot{\theta} \sin \psi \right)^2 + I_3 \left(\dot{\varphi} \cos \theta + \dot{\psi} \right)^2 \right\} - U \left(\vec{R}_c, \varphi, \theta, \psi \right). \quad (1)$$

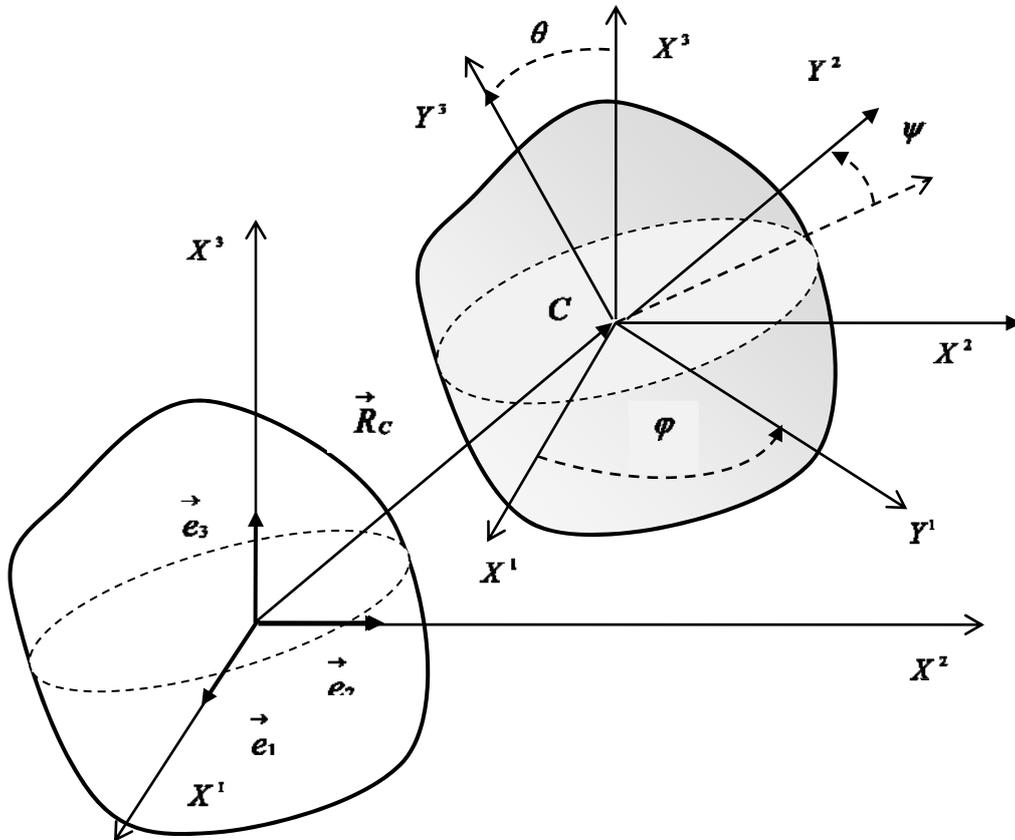
В формуле (1) введены обозначения: φ – угол прецессии; θ – угол нутации; ψ – угол чистого вращения. Подставляя (1) в уравнения Лагранжа второго рода

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}^j} - \frac{\partial L}{\partial q^j} = Q_j$$

после ряда громоздких преобразований [1] приходим к системе уравнений поступательно-вращательного движения абсолютно твёрдого тела G_1 в поле сил тяжести тела G_0

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x^1}{dt^2} = \Phi, & m \frac{d^2 x^2}{dt^2} = \Psi, & m \frac{d^2 x^3}{dt^2} = \Theta, \\ \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \Phi, & \frac{d^2 \psi}{dt^2} = \Psi, & \frac{d^2 \theta}{dt^2} = \Theta. \end{cases} \quad (2)$$

заданного силовой функцией $U = U(\vec{R}_C, \varphi, \theta, \psi)$. В уравнениях системы (2) функции Φ , Ψ , Θ сложным образом выражаются через углы Эйлера [1].



Пусть для некоторого момента времени t_0 заданы начальные условия

$$x^1|_{t=t_0} = x_0^1, \quad x^2|_{t=t_0} = x_0^2, \quad x^3|_{t=t_0} = x_0^3, \quad (3)$$

$$\frac{dx^1}{dt}|_{t=t_0} = \dot{x}_0^1, \quad \frac{dx^2}{dt}|_{t=t_0} = \dot{x}_0^2, \quad \frac{dx^3}{dt}|_{t=t_0} = \dot{x}_0^3, \quad (4)$$

$$\Phi|_{t=t_0} = \Phi_0, \quad \Theta|_{t=t_0} = \Theta_0, \quad \Psi|_{t=t_0} = \Psi_0, \quad (5)$$

$$\frac{d\Phi}{dt}|_{t=t_0} = \dot{\Phi}_0, \quad \frac{d\Theta}{dt}|_{t=t_0} = \dot{\Theta}_0, \quad \frac{d\Psi}{dt}|_{t=t_0} = \dot{\Psi}_0. \quad (6)$$

Тогда задача поступательно-вращательного движения абсолютно твёрдого тела в поле сил тяжести, определённом силовой функцией $U = U(\vec{R}_C, \varphi, \theta, \psi)$, может быть сформулирована так: *найти решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка (2), удовлетворяющее начальным условиям (3) – (6).*

Система интегральных уравнений основной задачи поступательно-вращательного движения абсолютно твёрдого тела. В силу сложной структуры дифференциальных уравнений поступательно-вращательного движения абсолютно твёрдого тела (2) – (6) их численное решение обычными методами представляется затруднительным, по крайней мере, в представляющих интерес для практики случаях. В докладе предлагается другой метод решения основной задачи (2) – (6), основанный на идеях упомянутых выше работ [4, 5].

Чтобы упростить изложение, введём обозначения для вектора-столбца обобщённых координат и вектора-столбца правых частей:

$$(x^1 \quad x^2 \quad x^3 \quad \varphi \quad \theta \quad \psi)^T \equiv (y_1 \quad y_2 \quad y_3 \quad y_4 \quad y_5 \quad y_6)^T, \quad (7)$$

$$\begin{cases} F_1 = \frac{1}{m} \frac{\partial U}{\partial y_1}, & F_2 = \frac{1}{m} \frac{\partial U}{\partial y_2}, & F_3 = \frac{1}{m} \frac{\partial U}{\partial y_3}, \\ F_4 = \Phi, & F_5 = \Theta, & F_6 = \Psi. \end{cases} \quad (8)$$

Тогда система уравнений (2) переписывается в стандартном виде

$$\begin{cases} \frac{d^2 y_1}{dt^2} = F_1, & \frac{d^2 y_2}{dt^2} = F_2, & \frac{d^2 y_3}{dt^2} = F_3, \\ \frac{d^2 y_4}{dt^2} = F_4, & \frac{d^2 y_5}{dt^2} = F_5, & \frac{d^2 y_6}{dt^2} = F_6. \end{cases} \quad (9)$$

В этих обозначениях начальные условия (3) – (6) примут вид

$$y_1|_{t=t_0} = y_1^0, \quad y_2|_{t=t_0} = y_2^0, \quad y_3|_{t=t_0} = y_3^0, \quad (10)$$

$$\frac{dy_1}{dt}|_{t=t_0} = \dot{y}_1^0, \quad \frac{dy_2}{dt}|_{t=t_0} = \dot{y}_2^0, \quad \frac{dy_3}{dt}|_{t=t_0} = \dot{y}_3^0, \quad (11)$$

$$y_4|_{t=t_0} = y_4^0, \quad y_5|_{t=t_0} = y_5^0, \quad y_6|_{t=t_0} = y_6^0, \quad (12)$$

$$\frac{dy_4}{dt}|_{t=t_0} = \dot{y}_4^0, \quad \frac{dy_5}{dt}|_{t=t_0} = \dot{y}_5^0, \quad \frac{dy_6}{dt}|_{t=t_0} = \dot{y}_6^0. \quad (13)$$

Теперь задача Коши (2), (3) – (6) переписывается в абстрактном виде

$$\frac{d^2}{dt^2} |Y(t)\rangle = |F(t)\rangle, \quad (14)$$

$$|Y\rangle|_{t=t_0} = |Y_0\rangle, \quad \frac{d|Y\rangle}{dt}|_{t=t_0} = |\dot{Y}_0\rangle. \quad (15)$$

В силу обозначений (13) – (15) и соответственно (7), (8) видно, что система обыкновенных дифференциальных уравнений является нелинейной системой, причём в правые части уравнений системы входят кроме самих искомым неизвестных ещё и нелинейные комбинации их первых производных по времени.

Пусть рассматривается поступательно-вращательное движение твёрдого тела на промежутке времени $[t_0, T]$, где T – конечно, но достаточно велико. Интегрируя векторное дифференциальное уравнение (14) по времени от t_0 до некоторого $t \in [t_0, T]$ два раза с учётом начальных условий (10) – (13), получаем интегральное представление

$$|Y(t)\rangle = |Y_0\rangle + |\dot{Y}_0\rangle \cdot (t - t_0) + \int_{t_0}^t \int_{t_0}^t |F(\tau)\rangle d\tau dt. \quad (16)$$

Если теперь в представлении (16) применить формулу Дирихле [6] для случая $n = 2$, то приходим к векторному интегральному уравнению

$$|Y(t)\rangle = |Y_0\rangle + |\dot{Y}_0\rangle \cdot (t - t_0) + \int_{t_0}^t (t - \tau) |F(\tau)\rangle d\tau, \quad (17)$$

эквивалентному задаче Коши (14) – (15) или, что то же самое, задаче Коши (2) – (6).

Чтобы реализовать эффективный алгоритм численного решения уравнения (17), нужно знать следующие функции: 1) силовую функцию U ; 2) функции Φ , Θ и Ψ . Силовая функция определяется строением притягивающего тела, а функции Φ , Θ и Ψ определяются через силовую функцию [1].

В заключение запишем векторное интегральное уравнение (16) в виде системы интегральных уравнений, используя обозначения (8):

$$\left\{ \begin{array}{l} x^1(t) = x_0^1 + \dot{x}_0^1 \cdot (t - t_0) + \int_{t_0}^t (t - \tau) \frac{1}{m} \frac{\partial U(\tau)}{\partial x^1} d\tau, \\ x^2(t) = x_0^2 + \dot{x}_0^2 \cdot (t - t_0) + \int_{t_0}^t (t - \tau) \frac{1}{m} \frac{\partial U(\tau)}{\partial x^2} d\tau, \\ x^3(t) = x_0^3 + \dot{x}_0^3 \cdot (t - t_0) + \int_{t_0}^t (t - \tau) \frac{1}{m} \frac{\partial U(\tau)}{\partial x^3} d\tau, \\ \varphi(t) = \varphi_0 + \dot{\varphi}_0 \cdot (t - t_0) + \int_{t_0}^t (t - \tau) \Phi(\tau) d\tau, \\ \theta(t) = \theta_0 + \dot{\theta}_0 \cdot (t - t_0) + \int_{t_0}^t (t - \tau) \Theta(\tau) d\tau, \\ \psi(t) = \psi_0 + \dot{\psi}_0 \cdot (t - t_0) + \int_{t_0}^t (t - \tau) \Psi(\tau) d\tau. \end{array} \right. \quad (18)$$

Уравнения системы (18) можно линеаризовать так, как это было сделано в работах [4, 5] для интегральных уравнений основной задачи небесной механики. Решение системы интегральных уравнений (18) после линеаризации можно искать методом последовательных приближений [2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубошин Г. Н. Небесная механика. М.: Наука, 1975. 800 с.
2. Калиткин Н. Н. Численные методы. М.: Наука, 1978. 512 с.
3. Рой А. Движение по орбитам. М.: Мир, 1981. 544 с.
4. Сурнев В. Б. О возможном алгоритме численного решения задачи многих тел в небесной механике. Иерархия интегральных уравнений задачи многих тел // Известия Уральского государственного горного университета. 2008. Вып. 23. С. 3-11.
5. Сурнев В. Б. S-матрица системы материальных точек, взаимодействующих по закону всемирного тяготения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2011. № 2 (219). С. 57-63.
6. Шилов Г. Е. Математический анализ. Функции нескольких вещественных переменных. М.: Наука, 1972. 624 с.

МЕЛЬНИЦА МОКРОГО САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ С РАЗГОННЫМИ ШАРАМИ ММС-3

*УСОВ Г. А., ФРОЛОВ С. Г., ДРУЖИНИН Е. В., ТЕРЕНТЬЕВ Д. В.,
КОНОВАЛОВ К. О., СЕРЕБРЯКОВ И. В.*

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Приготовление промывочных жидкостей является составной частью технологии промывки скважин. Оно представляет собой ряд последовательных операций по подготовке дисперсионной среды, т. е. измельчению, смешиванию с ней дисперсной фазы, утяжелению, химической обработке и т. д. В современных условиях применяются в основном два способа приготовления промывочных жидкостей: механический и гидродинамический (или просто гидравлический). Первый способ реализуется в различных глиномешалках, роторных мельницах, диспергаторах и т. п. Однако, анализируя известную измельчительную технику, следует отметить широкое применение второго – гидродинамического способа приготовления буровых растворов как в нашей стране, так и за рубежом.

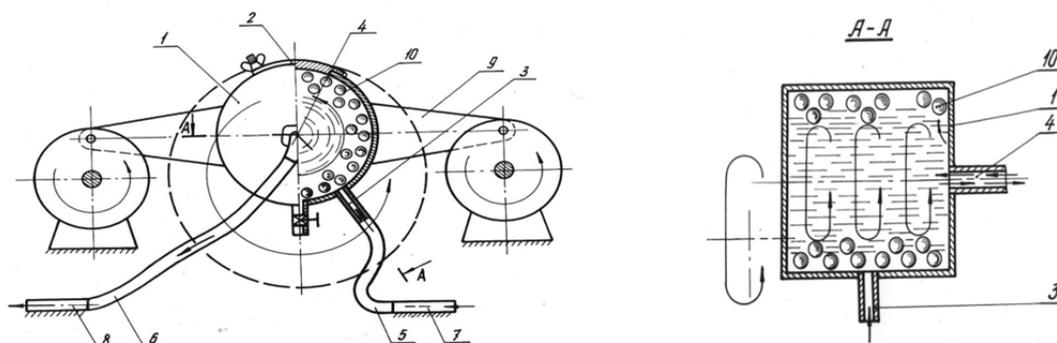
Учитывая недостатки известных измельчителей гидравлического типа и производственную необходимость в дополнительном доизмельчении и перемешивании крупнодисперсных суспензий, например, глинистых буровых растворов из местных глин, нами предлагается гидравлическая мельница непрерывного действия. По принципу работы данная мельница относится к типу устройств мокрого самоизмельчения. Она снабжена входным и выходным каналами, выполненными неподвижными и соединительными с подвижным барабаном, гибкими шлангами, причем гибкий шланг входного канала соединен с полостью барабана в непосредственной близости к его центру, а гибкий шланг выходного канала – с периферической частью барабана. Кроме того, выходной канал снабжен регулируемой заслонкой.

Такое конструктивное решение обеспечивает непрерывный отток измельченного продукта по выходному каналу из внутренней полости барабана мельницы под давлением, создаваемым вращающимся потоком измельчаемого материала. Образование в результате оттока зоны разряжения внутри полости барабана мельницы обеспечивает всасывание измельчаемого продукта по входному каналу в полость барабана мельницы, т. е. мельница работает непрерывно, что повышает ее производительность. Снабжение выходного канала регулируемой заслонкой позволяет изменять производительность мельницы в процессе ее работы.

На рисунке показаны мельница для мокрого самоизмельчения в поперечном разрезе и разрез корпуса мельницы А-А. Мельница состоит из корпуса в виде барабана 1, жестко закрепленного с диаметрально противоположных сторон двумя шатунами 2, другие концы которых соединены подвижно через шейки 3 с кривошипами 4, установлены на неподвижных опорах 5 и имеющими одинаковые радиусы от шейки вала 6 кривошипа 4 до центра шейки 3 кривошипа 4, причем расстояние между центрами валов 6 кривошипов 4 равно расстоянию между центрами шеек 3 кривошипов 4, т. е. привод барабана выполнен в виде шарнирного параллелограмма, причем центр тяжести барабана совмещен с центром тяжести шатуна.

Барабан 1 имеет герметичное загрузочное устройство, выполненное в виде откидного люка 7, шарнирно прикрепленного к барабану с одной стороны и стяжными болтами – с другой. Внизу выполнено разгрузочное устройство в виде патрубка 8 с краном. Внутренняя поверхность барабана 1 покрыта футеровкой 9. Барабан 1 мельницы снабжен входным 10 и выходным 11 каналами, выполненными неподвижными и соединительными с барабаном 1 гибкими шлангами 12 и 13, причем гибкий шланг 12 входного канала 10 соединен с полостью барабана 1 в непосредственной близости к его центру, а гибкий шланг 13 выходного канала 11 с периферийной частью барабана 1. Выходной канал 11 снабжен регулируемой заслонкой 14, а входной канал 10 – заслонкой 15.

Мельница работает следующим образом. Заслонки 14 и 15 закрываются. Вовнутрь барабана 1 заливается исходная крупнодисперсная пульпа до полного заполнения. После этого загрузочное устройство 7 герметически закрывается. Свободный конец канала 10 помещают в емкость исходным продуктом – крупнодисперсной пульпой, твердую фазу которой надо доизмельчить.



Мельница мокрого самоизмельчения ММС-3

Включают привод кривошипов 4, и корпус барабана 1 начинает колебательные движения по траектории круга. Открывают заслонку 14, и часть пульпы выливается из корпуса барабана 1 через выходной канал 11. Внутри корпуса при этом в центре образуется вакуум, а вдоль образующей корпуса барабана 1 – круговой поток (см. рис. 1). Наличие вакуума в центре не даст вытечь всей пульпе из корпуса, так как давление разрежения вакуума действует на пульпу в обратном направлении (вовнутрь, к центру) по отношению к гидравлическому давлению, создаваемому вращающимся потоком пульпы (от центра). Чем больше объем пульпы вытечет из барабана 1, тем выше будет степень разрежения вакуума, и наоборот. Наконец, открываем заслонку 15, и исходная пульпа из емкости по входному каналу 10 и гибкому шлангу 12 устремляется вовнутрь корпуса барабана в разреженное пространство – в вакуум, а из него в круговой поток, где пульпа измельчается.

Приток пульпы вовнутрь корпуса 1 вызывает уменьшение разреженного пространства, т. е. величины вакуума, что приводит к уменьшению расхода пульпы на выходе из мельницы. А увеличение расхода вызывает обратное действие – увеличивает объем разреженного пространства. В конечном итоге наступает равновесие перепадов давления: входной канал 10 – вакуум и вакуум-выходной канал 11.

При равновесии данных перепадов давления наступает постоянный расход готовой пульпы на выходе из мельницы. Величина же перепада давления определяет величину расхода или производительность мельницы. Изменяя величину перепадов давления заслонкой 14, можно регулировать время пребывания пульпы в корпусе барабана 1, а следовательно, и степень измельчения. Раскручивание пульпы в корпусе барабана 1, как указывалось выше, происходит за счет трения коаксиально движущихся смежных слоев пульпы с разными линейными скоростями. Следовательно, область вязкостного трения и затраты энергии на его преодоление в предложенной мельнице будут достаточно велики. Это, как известно, будет способствовать повышению эффективности измельчения предложенной мельницы.

Более того, эффективность измельчения легко может быть повышена за счет возрастания скорости смещения смежных слоев пульпы в круговом потоке при увеличении размеров диаметра корпуса барабана 1 и скорости вращения кривошипа 4.

Предложенная мельница не нуждается в комплектовании ее насосными установками. За счет работы в режиме насоса в ней решена проблема механизации загрузки и выгрузки приготавливаемого продукта. Мельница может быть использована для доизмельчения грубодисперсных глинистых буровых растворов, приготавливаемых, например, роторными мельницами типа «ФСМ» из местных глин, а также для обработки промывочных жидкостей реагентами или для приготовления самих реагентов.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БУРОВЫХ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

*ФРОЛОВ С. Г., УСОВ Г. А., ДРУЖИНИН Е. В., ТЕРЕНТЬЕВ Д. В.,
КОНОВАЛОВ К. О., СЕРЕБРЯКОВ И. В.*

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Экономичность и эффективность бурения во многом зависит от качества применяемых промывочных жидкостей, состояния и организации глинистого хозяйства геологоразведочных служб. Основным критерием, определяющим вид и качество промывочной жидкости, является невысокая стоимость и соответствие ее физико-химических свойств конкретным условиям бурения. Этот критерий обуславливает необходимость разработки принципиально новых промывочных жидкостей и химических реагентов, совершенствование рецептур известных буровых растворов, а также повышение технического и организационного уровня их изготовления и использования.

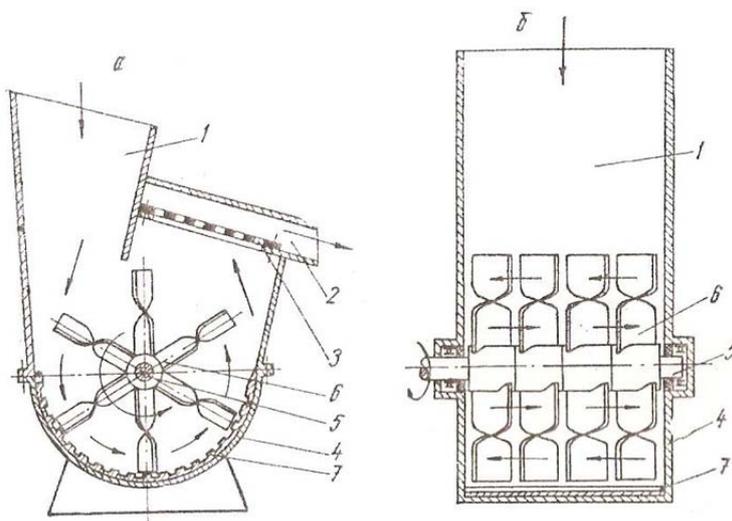
Глинистые растворы остаются одним из основных типов промывочных жидкостей, применяемых в настоящее время в бурении. Являясь наиболее дешевыми и простыми в приготовлении, они обеспечивают проходку скважин в сложных геологических условиях. Их баланс по отношению к другим типам растворов составляет более 80 %. Использование реагентов и добавок, применение естественных буровых растворов, несомненно, повысило качество приготавливаемых промывочных жидкостей применительно к условиям геологоразведочных организаций.

Для приготовления промывочных жидкостей из сухих порошкообразных материалов и жидкой фазы необходимо создание условий для полного смачивания твердых частиц. При приготовлении промывочных жидкостей из комовых материалов или влажных порошков необходимо предварительное дробление кусков слипшихся комков. Процессы дробления и перемешивания исходных твердых материалов с жидкой фазой, в основном, осуществляются в измельчителях с механическим и гидравлическим приводом. В последние годы возрос практический интерес к измельчителям для приготовления буровых растворов электровзрывовым и электрогидравлическим методами.

Проведенный анализ устройств для приготовления промывочных жидкостей применительно к разведочному бурению показал, что все они обладают различными недостатками. К таким недостаткам можно отнести: пониженную эффективность измельчения комового исходного продукта, известные фрезерно-струйные мельницы и струйные диспергаторы требуют многократной циркуляции приготовленной пульпы через измельчитель, что резко снижает их производительности; нерешен вопрос загрузки и выгрузки исходного продукта и его предварительного измельчения; большие габариты измельчительной техники и т. д. Следует отметить и тот факт, что несмотря на многочисленность источников научно-технической литературы, описывающих измельченную технику для приготовления промывочных жидкостей, в них нет сведений об эффективности работы измельчающих устройств по затратам энергии в зависимости от степени измельчения исходного твердого продукта. Практически это крайне затрудняет правильный выбор наиболее экономически выгодных измельчающих устройств при заданных требованиях к виду и качеству промывочных жидкостей.

Изучение современного состояния технических средств для приготовления промывочной жидкости и их анализ указывают на необходимость дальнейшего совершенствования измельчительной техники для приготовления промывочных жидкостей и позволяют сформулировать основные требования при разработке конструкции, а именно: высокая производительность и эффективность работы устройств, простота конструкции и малые габариты, крайне необходимые для эксплуатации их в полевых условиях, повышение способности перемешивания приготавливаемых буровых растворов с применением химических реагентов.

В соответствии с вышеуказанными требованиями нами была усовершенствована конструкция роторной мельницы типа ФСМ. Предложенная роторная мельница предназначена для приготовления промывочных жидкостей их комовых глин и глинопорошков, обработки их реагентами и приготовления самих реагентов из трудносмешиваемых компонентов. На рисунке показаны поперечный разрез (а) и продольный разрез (б) мельницы. Мельница состоит из загрузочного бункера 1, сливного лотка 2 с выходной решеткой 3, корпуса 4, в котором размещены горизонтальный ротор 5 с многоярусными лопастями 6 и ударной плитой 7.



Роторная мельница-мешалка РРМ-2:

а – поперечный разрез; б – продольный разрез

Исходный материал, например, крупнокомовая глина, непрерывно подается в загрузочный бункер 1, одновременно сюда подается жидкая фаза – вода. Попадая в корпус 4, комовая глина, подхваченная вращающимся потоком пульпы, соударяется с ударной плитой 7, в результате чего происходит измельчение. Благодаря выполнению лопастей 6 ротора 5 многоярусными в корпусе 4 мельницы при его работе создаются противотоки, которые движутся навстречу друг другу, в результате чего происходит интенсивное перемешивание измельченного материала – глины с водой. Приготовленная суспензия, проходя выходную решетку 3, отводятся через сливной лоток наружу.

По результатам проведенных испытаний опытного образца предложенная роторная мельница характеризуется следующими параметрами:

Вид измельчаемого материала	Комковатая глина, мел, УЩР и т. д.
Производительность, м ³ /ч	15-20
Частота вращения ротора, мин.	1000
Потребляемая мощность, кВт	22
Габаритные размеры, мм:	
Длина	1900
Ширина	1100
Высота	1250
Масса (без электродвигателя), кг	350

Предложенная мельница обеспечивает качественное приготовление буровых растворов, что позволяет уменьшить простой и осложнения при бурении скважин и получить существенный экономический эффект. Повышение интенсивности движения потоков пульпы в рабочей камере без увеличения частоты вращения ротора обеспечивает увеличение эффективности измельчения твердых частиц глиноматериала. Это приводит к сокращению расхода энергии в 1,2-1,6 раза по сравнению с известными мельницами при приготовлении буровых растворов.

ТЕХНОЛОГИЯ ЭНЕРГОНАПРЯЖЕННОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МИКРОМОЛОТКОВОЙ МЕЛЬНИЦЕЙ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ БУРОВЫХ И ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

*УСОВ Г. А., ФРОЛОВ С. Г., ТАРАСОВ Б. Н., ДРУЖИНИН Е. В.,
СЕРЕБРЯКОВ И. В., КОНОВАЛОВ К. О.*
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Важным резервом повышения производительности бурения скважин и сокращения сроков разведки месторождений полезных ископаемых является правильный выбор технологии бурения, в том числе вида и качества промышленных жидкостей с высокой степенью механоактивации исходных компонентов. При этом для приготовления таких механоактивированных промывочных жидкостей используются самые разнообразные по физико-механическим свойствам сходные компоненты из твердых материалов: глина, мел, барит, гипс, доломит, гематит, торф, целлюлозосодержащие твердые материалы и другое минеральное и органическое сырье. Исходя из этого для качественного и производительного приготовления механоактивированных промывочных жидкостей необходимо использовать энергонапряженную измельчительную технику, обеспечивающую высокий потенциал передачи механической энергии мелющих органов измельчаемому продукту. Особенно это требование важно, как показывает практика, для разрушения при измельчении вязких и пластичных материалов с высокими деформационными характеристиками физико-механических свойств данных материалов.

Следует отметить, что во многих отраслях промышленности (химической, строительной, горно-обогатительной, пищевой и др.) для решения подобных задач измельчения используются молотковые мельницы. Однако, как показал анализ, несмотря на высокую эффективность измельчения твердых материалов с весьма широким диапазоном прочностных и деформационных свойств, известные наиболее эффективные конструкции молотковых мельниц данного типа обладают рядом существенных недостатков.

С учетом выявленных недостатков научным коллективом кафедры ТТР МПИ разработана новая технология энергонапряженного измельчения минерального и органического сырья с повышенным диапазоном величин прочностных и деформационных параметров физико-механических свойств этих твердых материалов. Причем конструкция измельчительного устройства, реализующая данную технологию измельчения, выполнена с учетом технологических и эксплуатационных требований приготовления, высококачественных буровых промывочных жидкостей из самых разнообразных исходных компонентов. Измельчительная машина МММ-2 (многоступенчатая молотковая мельница) реализующая данный способ изображена на рисунке.

При работе устройства измельчаемый материал через входной канал 10 подается в верхнюю часть камеры дробления 1 к пакету длинных молотков 7 ротора на валу 2, вращающегося в одном направлении с ротором на валу 3. измельчаемый и перемещаемый этими молотками в кольцевом пространстве вокруг ротора на валу 2 материал поступает в зону встречного движения молотков 7 и 8, где интенсивно измельчается благодаря удвоенной скорости взаимодействия частиц материала с молотками в стесненных условиях и полностью перемещается в кольцевое пространство вокруг ротора на валу 2 за счет окружной скорости потока, большей, чем окружная скорость потока материала в кольцевом пространстве вокруг ротора на валу 3. По мере измельчения молотками 8 частицы материала под действием силы тяжести опускаются к нижележащему пакету длинных молотков 7 ротора на валу 3, и процесс измельчения повторяется аналогичным образом до тех пор, пока материал не достигнет самого нижнего пакета коротких молотков 8, после чего измельченный материал поступает в нижний выходной канал 11. Скорость перемещения продукта в зоне измельчения регулируют путем варьирования количеством на роторах молотков 9 и направлением угла атаки их лопастей.

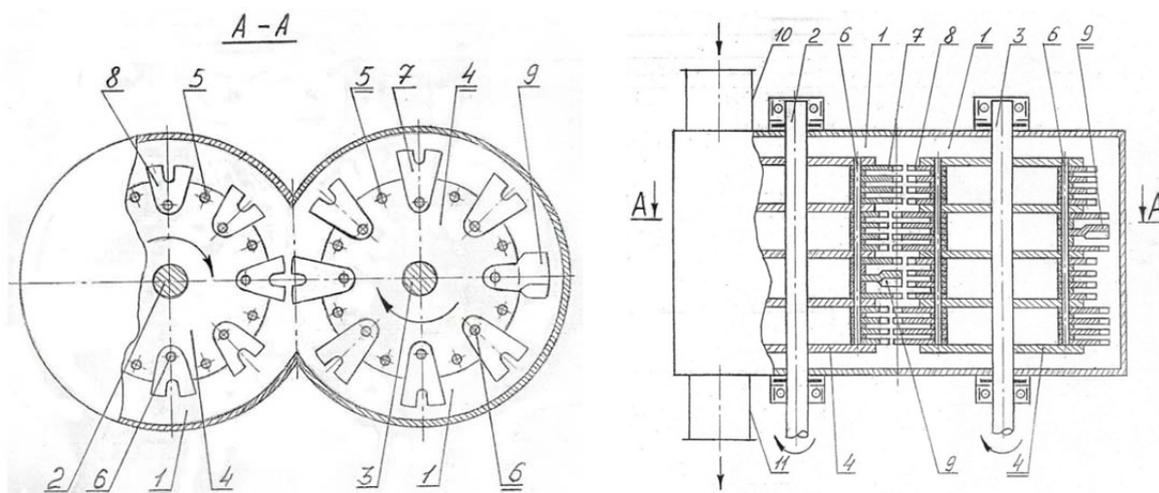


Рис. 1. Многоступенчатая молотковая мельница МММ-2

Предлагаемая конструкция многоступенчатой молотковой мельницы МММ-2 имеет следующие технические данные.

Вид материала	Глина, барит, цемент, мел, торф, уголь и др.
Линейный размер частиц, м: исходного продукта, конечного продукта	$(2-10) \cdot 10^3$ $(5-20) \cdot 10^6$
Степень измельчения	30-50
Число одновременно протекающих актов разрушения твердого материала в измельчительной машине, с-1	$(1,1-1,4) \cdot 10^4$
Общее количество ударных рабочих элементов, шт.	2240
Тип системы охлаждения	Водяное
Потребляемая мощность, кВт	75
Производительность, т/ч	1,0-1,5
Габариты, мм	3200×2150×1650
Масса, кг	3950

Проведенные нами стендовые исследования опытного образца многоступенчатой молотковой мельницы МММ-2 показали высокую эффективность ее работы при измельчении материалов в различными прочностными и деформационными свойствами (глина комовая, барит, гематит, каменный уголь, торф и т. д.). Это позволяет рекомендовать ее для эксплуатации в различных геологоразведочных организациях при приготовлении весьма разнообразных по составу буровых промышленных жидкостей, поскольку помимо высокой эффективности измельчения твердых материалов данная мельница обеспечивает высокую степень массообмена (т. е. перемешивания) при измельчении. Наконец, предлагаемая конструкция мельницы МММ-2 может найти широкое применение при получении высокодиспергированных пульп и порошков различных материалов для технологических процессов в таких отраслях промышленности как горно-обогатительная, химическая, строительная и др.

РЕЖИМЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ГЛИН ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ БУРОВЫХ ОЧИСТНЫХ АГЕНТОВ

*ФРОЛОВ С. Г., УСОВ Г. А., ТАРАСОВ Б. Н., ДРУЖИНИН Е. В.,
СЕРЕБРЯКОВ И. В., КОНОВАЛОВ К. О.*
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Известно, что механизм разрушения частиц твердой фазы буровых промывочных жидкостей при их обработке гидроакустическим методом носит избирательный – поверхностный характер и подобен кавитационной эрозии. То есть под воздействием ударных нагрузок, трансформируемых на частицы, флотированные у поверхности кавитирующего пузырька, происходит отшелушивание материала с их поверхности. Нами выведено уравнение (1), определяющее зависимость величины прироста свободной поверхности S_n от количества гидроакустических импульсов n :

$$S_n = A^n X_0^{-2} (1 - 2\alpha)^{2n} a_2, \quad (1)$$

где $A = 1 + a_2$; a_2 – коэффициент поверхности глиноматериала; $\alpha = X_1/X_0$; X_0 и X_1 – линейный размер частиц глиноматериала до и после измельчения. Согласно закону Риттингера при единичном гидроакустическом импульсе для разрушения поверхностного слоя на толщину отшелушиваемых частиц X_1 необходимо затратить энергию U :

$$U = 3e X_0^2 X_1 a_3, \quad (2)$$

где e – объемная плотность энергии предельных упругих деформаций глиноматериала; a_3 – коэффициент объема глиноматериала.

Принимая во внимание кинетическую энергию E_k жидкости, движущейся в поле кавитационного пузырька, можно утверждать, что величина акустической энергии, передаваемой каждой из флотированных частиц твердой фазы при его всхлapyвании, будет равна:

$$U = E_k / n_k. \quad (3)$$

где n_k – количество флотированных частиц твердой фазы на поверхности кавитирующего пузырька.

Из рассмотренных зависимостей (2) и (3) легко определить размер X_1 отшелушиваемых частиц при единичном всхлapyвании кавитирующего пузырька:

$$X_1 = E_k / 3e n_k X_0^2 X_1 a_3. \quad (4)$$

Количество n_k флотированных частиц твердой фазы на поверхности кавитирующего пузырька равно отношению объема V_k жидкости, из которой флотируются диспергируемые частицы, к ее объему V , приходящемуся на одну частицу:

$$n_k = V_k / V. \quad (5)$$

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

$$R_k = (X R_0^3 \rho_f / \eta)^{0.5}, \quad (6)$$

где ρ_f – 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:

$$n_m \leq 4R_0^2 / X^2. \quad (7)$$

В противном случае наблюдается блокировка кавитационного пузырька (4). Объем V_k в соответствии с (6) зависит от радиуса воздействия парогазового пузырька на твердые частицы при их флотации. Для рассматриваемого случая он равен:

$$V_k = 3\pi (X R_0^3 \rho_f / \eta)^{1.5}, \quad (8)$$

где ρ_r – плотность глиноматериала; η – динамическая вязкость кавитирующей среды.

Объем V , исходя из условия равномерного распределения диспергируемых частиц в объеме V_p приготавливаемой жидкости, составит:

$$V = V_p X_0^3 a_3 / V_r. \quad (9)$$

Решая уравнение (4) с учетом (5) и (8), получим:

$$n_k = 3\pi^{1.5} V_r R_0^{4.5} (\rho_r / \eta)^{1.5} / V_p X_0^{1.5} a_3. \quad (10)$$

Решение уравнения (4) с учетом зависимостей (6) и (10) дает выражение, определяющее толщину поверхностного слоя диспергируемой частицы эрозируемого при единичном всхлapyивании кавитирующего пузырька, которая в нашем случае равна линейному размеру частиц, образовавшихся в результате первичного импульса гидроакустических колебаний:

$$X_1 = 0,14 \rho_v V_p / e X_0^{1.5} (\rho_r / \eta)^{1.5} V_r [(1 - P_r / P) \cdot (P / P_v)]^{0.5}. \quad (11)$$

Произведем анализ полученной зависимости (11), для чего определим величины входящих сюда коэффициентов. Зависимость, определяющая радиус кавитационного пузырька, была эмпирически найдена Брониным Ф. А.:

$$R_0 = 0,4 / f (1 - P_r / P) \cdot (P / P_v)^{0.5} \quad (12)$$

где P_r – величина гидростатического давления, $P_r = P_1 - P_2$; P – величина звукового давления.

Из этого следует, что величина гидроакустического давления P_r , определяемая зависимостью (12), будет равна 4 МПа. Звуковое давление P из условия развития кавитационного процесса необходимо иметь не ниже 4,2 МПа. Плотность воды ρ_v и глины ρ_r примем равной соответственно 10^3 и $2,6 \cdot 10^3$ кг/м³. Величина динамической вязкости η для воды составляет 1 МПа·с. Объемы раствора V_p и глины V_r , необходимой для приготовления единицы объема этого раствора, составляют соответственно 1 и 0,1 м³.

Решение уравнения (11) при принятых нами коэффициентах показывает, что величина линейного размера X_1 частиц, образовавшихся при единичном импульсе гидроакустического поля, может изменяться в зависимости от начального линейного размера X_0 диспергируемых частиц в пределах от 0,1 до $0,4 \cdot 10^{-8}$ м. Установление зависимости между величинами начального линейного размера частиц X_0 и размера частиц, полученных при гидроакустическом диспергировании после первого акта X_1 , позволяет определить необходимое количество актов n для получения общей поверхности, равной S_n , а уравнение (1) является условием выполнения рассматриваемого процесса. Группируя уравнения (1), (7) и (12), можно записать зависимость, определяющую необходимое и возможное количество актов n приложения нагрузки при гидроакустическом диспергировании материалов:

$$n = \log A (1 - 2\alpha)^2 4R_0 X_0^{-2}. \quad (13)$$

Зная необходимое количество актов n , а также количество одновременно обрабатываемых частиц одним кавитационным пузырьком n_k и количество K таких пузырьков в единице объема при данной характеристике поля, можно определить затраты времени T на протекание процесса гидроакустического диспергирования единицы объема V_r глиноматериала:

$$T = V_r n / n_k K f X_0^3 a_3. \quad (14)$$

Анализ полученных зависимостей (1), (7) и (12) показывает, что наиболее рационально процесс гидроакустического диспергирования протекает при малых частотах ($f = 0,01 - 10$ кГц). С увеличением частоты гидроакустического поля происходит уменьшение флотационной способности кавитирующих пузырьков и, как следствие, увеличение времени на протекание процесса. Выполненные теоретические исследования диспергирования глин позволяют существенно повысить эффективность работы гидроакустических измельчительных машин, снизить их энергозатраты, а также рассчитать технические и конструктивные параметры данных машин.

ФРАКТАЛЬНАЯ РАЗМЕРНОСТЬ И ХАОС

БАБИЧ В. Н.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Многие природные системы настолько сложны и нерегулярны, что использование только знакомых объектов классической геометрии для их моделирования становится невозможным. Как, к примеру, построить модель горного хребта или формы месторождения в терминах геометрии? Как описать то многообразие биологических конфигураций, которое мы наблюдаем в мире растений и животных? Представьте себе всю сложность системы кровообращения, состоящей из множества капилляров и сосудов и доставляющей кровь к каждой клеточке человеческого тела. Столь же сложной и нерегулярной может быть и динамика природных систем. Можно ли математически описать внезапное возникновение волны паники на финансовых рынках или даже построить математическую модель социального поведения? Самым подходящим средством для исследования поставленных вопросов являются фракталы и математический хаос. Термин «фрактал» относится к некоторой статичной геометрической конфигурации, например, такой как мгновенный снимок водопада. Хаос – термин динамики, используемый для описания явления, подобного турбулентному поведению погоды. Данная статья является введением в математику, которая стоит за этими понятиями [1].

То, что мы наблюдаем в природе, интригует нас бесконечным повторением одного и того же узора, увеличенного или уменьшенного во сколько угодно раз. Например, у дерева есть ветви. На этих ветвях есть ветки поменьше и т. д. Теоретически, элемент «разветвления» повторяется при увеличении картинки – вы по-прежнему будете различать нечто, напоминающее ветвление, благодаря вашей способности (статической по сути) различать тип объекта на рисунке. Так появляется одно из характерных свойств фракталов – самоподобие.

Во фрактальной геометрии самоподобие используется в качестве определяющего свойства. Следуя Б. Мандельброту [2], фракталы должны определяться в терминах фрактальной (дробной) размерности. Отсюда и происхождение слова фрактал (произведение от латинского слова *frangere* – ломать и прилагательного *fractus* – дробный) [3]. Понятие дробной размерности представляет собой весьма сложную концепцию. Прямая – это одномерный объект, а плоскость – двумерный. Хорошо «перекрутив» прямую или плоскость, можно повысить размерность полученной конфигурации, при этом новая размерность обычно будет дробной в некотором смысле.

В качестве теоретической основы алгоритма вычисления фрактальной размерности выбирается математическое определение размерности геометрического объекта такого типа как размерность Минковского, хаусдорфова, информационная, корреляционная, а также спектра обобщенных размерностей Реньи. Распределение точек (дискретного множества) в ограниченной области A называется совокупность величин d_q (с показателем $q \in R$):

$$d_q = \tau(q)/(q-1) \quad \tau(q) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} (\ln Z(q, \varepsilon) / \ln \varepsilon) \quad Z(q, \varepsilon) = \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i^q(\varepsilon),$$

где $p_i(\varepsilon)$ – вероятность того, что некоторая точка содержится в i -й ячейке (сфере) E_i (причем $A \subseteq \bigcup_i E_i$, $\text{diam } E_i \leq \varepsilon$), $N(\varepsilon)$ – минимальное число ячеек покрытия множества точек.

Для однородного фрактала (с одинаковым распределением точек по ячейкам) имеем $d_q \equiv d = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \ln N(\varepsilon) / \ln(1/\varepsilon)$. При $q=0$ величина d_0 представляет собой обычную

хаусдорфову размерность множества A (является грубой характеристикой мультифрактала и не несет информации о его статистических свойствах). При $q=1$ величина $d_1 = \tau'(1)$ характеризует информацию, необходимую для определения местоположения точки в некоторой ячейке.

Информационная размерность d_1 показывает, что количество информации, необходимой для определения местоположения точки, возрастает при стремлении размера ячейки $\varepsilon \rightarrow 0$. При $q=2$ величину d_2 называют корреляционной размерностью (является количественной характеристикой самоподобия множеств). Часто в практической реализации используется сеточный (клеточный) метод вычисления фрактальной размерности, основанный на упрощенном определении размерности – кубической размерности, которая отличается от хаусдорфовой тем, что при ее вычислении берутся не шары, а клетки (или кубы). В общем случае, значение кубической размерности не меньше хаусдорфовой размерности (но для самоподобных фракталов они совпадают).

Связь дробной размерности и самоподобия состоит в том, что с помощью самоподобия можно сконструировать множество дробной размерности наиболее простым способом. В случае же более сложных фракталов, таких, как граница множества Мандельброта, когда чистое самоподобие отсутствует, имеется почти полное повторение базовой формы во все более и более уменьшенном виде. Универсального определения математического хаоса не существует, однако имеется полное согласие о том, что любой вид хаоса обладает свойством непредсказуемости. Это свойство называют существенной зависимостью от начальных условий, оно не эквивалентно случайному поведению. Математический хаос – это основная черта именно детерминированных динамических систем. Поэтому наблюдаемые в состоянии хаоса флуктуации кажутся случайными – их значения полностью предопределены входными параметрами. Однако на практике мы никогда не располагаем абсолютно точной информацией о начальных условиях. Ошибки, пусть и ничтожные, всегда имеют место при изменении исходных параметров. Следовательно, то, что кажется нам случайным результатом на выходе динамической системы, обусловлено большими ошибками, которые могут появиться, когда система ведет себя хаотично.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ричард М. Кроновер Фракталы и хаос в динамических системах. М: Техносфера, 2006. 488 с. ISBN 5-94836-068-7.
2. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Ин-т компьютерных исслед., 2002. 856 с.
3. Потапов А. А. Фракталы, хаос, рекурсия // Высшее образование сегодня. 2003. № 4. С. 18-26.