

УДК 550.834:622.12

О ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДАХ ПРОГНОЗА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ МЕТОДАМИ ШАХТНОЙ ПЛАСТОВОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Бородин Д. С., Глухов А. А.
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

У наданій статті подано аналіз перспективних методів прогнозу аномалій в гірничо-геологічних умовах залягання вугільних пластів, запропоновано новий алгоритм локалізації аномалій, заснований на використанні методу дифракційного перетворення.

This article analyzes the promising methods for predicting anomalies in mining and geological conditions occurrence of coal beds, it is given a new algorithm for localization of the anomalies based on the method of diffraction transformation.

Многолетняя эксплуатация угольных месторождений приводит к постепенному переходу к отработке угольных пластов со сложными горно-геологическими условиями залегания и соответственно, повышенной опасностью отработки. Этот факт, в свою очередь, обуславливает актуализацию применения предварительного прогноза структуры и состояния массива методами отраженных волн и сейсмической локации на участках планируемых горных работ, разработки новых эффективных технологий проведения экспериментов и обработки их результатов.

Для всех выполненных в статье заключений полагаем, что проведён тестовый натурный эксперимент методом сейсмического просвечивания на чистом канале и апостериори определена структура волнового поля, количество и природа волновых пакетов, их скорости, частотный диапазон. Авторы считают, что дан-

ная операция выполнена в ходе общего графа проведения сейсморазведочных работ, и мы знаем все исходные параметры.

Основное направление применения метода отраженных волн и его разновидностей – трассирование тектонических нарушений, для оконтуривания зон размывов, зон замещения угля породой, выявления карстов, флексурных перегибов [2]. Ряд особенностей метода в условиях пластовой сейсморазведки определяют, с одной стороны, основные проблемы практического применения, а с другой стороны, открывают возможности для разработки более совершенных подходов.

При выборе способа исследований мы будем опираться на ряд геофизических фактов, представляющих наибольшую важность для подземных исследований.

Во-первых, пластовая сейсморазведка наиболее эффективна для прогноза мелкоамплитудной тектонической нарушенности, не выявляемой методами геологоразведки. Данный тип нарушений имеет сравнительно малую протяженность, и, как следствие, малую отражающую границу.

Во-вторых, дизъюнктивы сопровождаются зонами трещиноватости, размеры которых пропорциональны амплитуде нарушения и тем больше, чем выше степень эпигенеза углепородного массива. Как показывают результаты многих исследований, отражение сигнала происходит не столько от самого сместителя, сколько от вышеупомянутой зоны [1, 2].

В-третьих, как правило, природа и скоростные характеристики основных информативных волновых пакетов могут быть определены в ходе натурных экспериментов, а при наличии достаточной информации о строении массива, и априори.

В последнее время особое внимание уделяется методам автоматизации получения сейсмических изображений среды. В качестве информативных параметров в них могут выступать как кинематические, так и динамические характеристики сигнала.

Еще в 80-х годах в Карагандинском политехническом институте был разработан и нашел ограниченное применение алгоритм голографического восстановления волнового поля каналовых волн в плоскости залегания угольного пласта по данным МОВ [4], который можно взять за основу.

Рассмотрим волновое поле в неоднородной среде. Пусть на профиле L расположенном вдоль оси x расположено N сейсмоприемников с координатами (x_{0j}, y_0) , где j принимает значения от 1 до N (рис. 1).

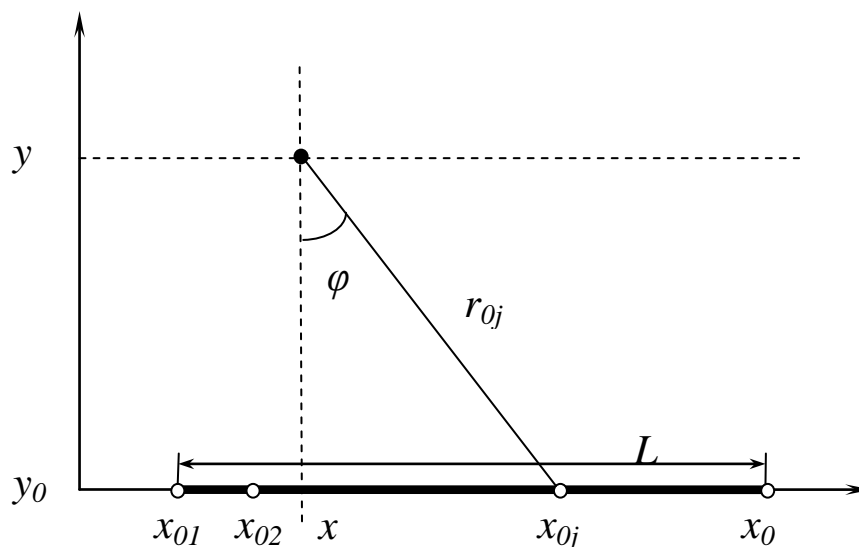


Рис. 1. К алгоритму восстановления значений поля волн в плоскости угольного пласта

Пусть в точках регистрации записываются значения некоего информативного параметра волнового поля $P(X_0, Y_0)$ для решения дифракционной задачи. Это может быть амплитуда, частота, фаза колебаний и другие параметры. В скалярной теории дифракции значение параметра в точке (x, y) задаётся интегралом Релея-Зоммерфельда, который для дифракции Френеля и случаев $kr \gg 1$ при решении задачи в области «координата-частота» можно записать в виде:

$$P(x, y) = -\frac{e^{i\frac{3}{4}\pi}}{\sqrt{\lambda_k}} \int_L P(x_0, y_0) \frac{e^{-ikr}}{\sqrt{r}} \cos \varphi dL, \quad (1)$$

где k, λ_k – соответственно волновое число и длина волны, зависящие от частоты восстановления w и фазовой скорости $V(w)$;
 r – расстояние между точками регистрации (x_0, y_0) и восстановления (x, y) ;

φ – угол между направлением на точку восстановления и нормалью к профилю наблюдений.

Для вычисления выражения (1) интеграл можно заменить суммой:

$$P(x, y) = \frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} \sum_{j=0}^N P(x_{0j}, y_{0j}) \cos \varphi_{ij} \frac{e^{-i(kr_j - 3/4\pi)}}{\sqrt{r_j}}, \quad (2)$$

где $r_j = \sqrt{(x - x_{0j})^2 + (y - y_0)^2}$, $\cos \varphi_j = (y - y_0)/r_j$;

N – число сейсмоприёмников.

С физической точки зрения интерпретировать данную формулу можно следующим образом. Каждый сейсмоприемник в точке (x_{0j}, y_0) можно считать источником цилиндрической волны с амплитудой уменьшенной в $\sqrt{\lambda_k}$ раз и фазой сдвинутой на $3/4\pi$ по сравнению с реально им зарегистрированными параметрами. В каждой точке (x, y) рассчитывается суперпозиция цилиндрических волн, испущенных «источниками» в точках (x_{0j}, y_0) и определяется амплитуда результирующей суммарной волны. Процедура повторяется на регулярной сетке точек в исследуемой области и в результате получается распределение амплитуды волнового поля в плоскости xy .

В работе [4] в качестве основных информативных параметров используется амплитуда и фаза сигнала на выбранной частоте восстановления. В общем случае, информативный параметр можно выбрать любой. Например, характерную частоту сигнала, или его энергию. В качестве информативных волновых пакетов можно выбрать как каналовые волны, так и боковые.

В качестве альтернативы можно предложить несколько иной подход. Рассмотрим для начала задачу в плоскости залегания угольного пласта. Допустим, имеется система наблюдений с пунктом возбуждения колебаний ПВ и набором сейсмоприемников СП_{*i*} (см. рис. 2). Каждая точка исследуемой области среды согласно принципу Гюйгенса-Френеля является источником вторичных сейсмических колебаний, которые регистрируются сейсмоприемниками СП_{*i*}. Причем, относительно СП₀ к сейсмоприемнику СП_{*j*} волна придет с известным запаздыванием $\tau_j = m_j \Delta \tau = \Delta r_j / V = (r_j - r_0) / V$, где V – измеренная ранее скорость рас-

пространения сейсмоакустических колебаний соответствующего типа, $\Delta\tau$ – шаг дискретизации сейсмотрасс, m_i – количество отсчетов запаздывания.

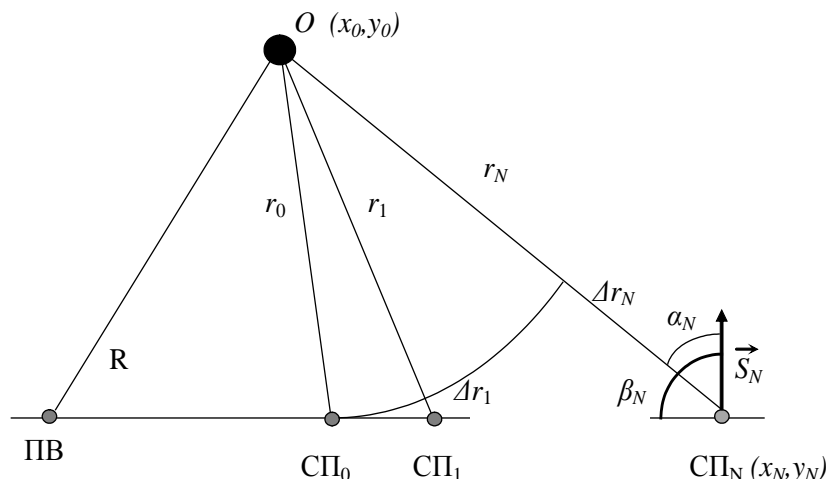


Рис. 2. К объяснению алгоритма суммирования

Выбрав один из сейсмоприемников в качестве базового и учтя значения запаздывания для каждого из сейсмоприемников, легко рассчитать суммотрассу S для любой точки O в исследуемой области, значения отсчетов s_k которой могут быть вычислены по очевидной формуле

$$s_k = \sum_{j=0}^N A_j s_{k+m_j}^j, \quad (3)$$

где $m_j = \Delta r_j / V \Delta \tau = (r_j - r_0) / V \Delta \tau$;

A_j – обобщенный весовой множитель;

k – номер отсчёта от 0 до K , где K – общее число отсчётов сейсмограммы;

$s_{k+m_j}^j$ – сдвинутый на время запаздывания m_j отсчёт k i -ого сейсмоприёмника;

N – число сейсмоприёмников.

При суммировании необходимо вводить весовые множители, в частном случае, как поправку на направленность приемника и поправку на расстояние.

Пусть ось направленности сейсмоприемника СП_j такова, что направление наиболее эффективного приема информативной компоненты составляет угол β_j с направлением профиля. Поправка на направленность приемника может быть определена как $f(\alpha_j)$ – функция отклонения направления наиболее эффективного приёма отражённого сигнала от действительного направления приёмника в эксперименте, $\alpha_j = \beta_j - \arccos(|x_j - x_0|/r_j)$. В общем случае, при теоретических рассуждениях функцию не представляется возможным записать аналитически, однако для некоторых типов сейсмоприемников она имеет вид $f(\alpha_j) = \cos(\alpha_j)$ [5]. В этом случае диаграмма направленности будет выглядеть, как показано на рисунке 3.

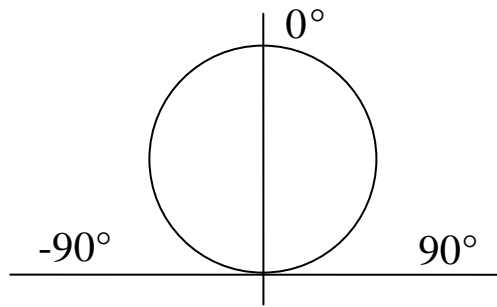


Рис. 3. Диаграмма направленности сейсмоприёмника

Разрабатываемый метод направлен на то, чтобы установить коррелируемые аномалии между суммотрассами соседних ячеек плоскости. Инструментом для нахождения зависимостей выбрана функция отклонения $f(\alpha_j)$.

Поправка на расстояние $d_j = d(r_j)$ формируется под воздействием, по меньшей мере, двух факторов. Это поправка на естественное затухание сигнала, вызванное его поглощением средой, и поправка на расхождение. Эту характеристику можно вводить во все суммотрассы, зная механико-физические параметры угольного пласта, в котором проводятся измерения, и вмещающих его пород. Отметим, что для большинства наблюдаемых в практике пластовой сейсморазведки типов волн закон расхождения волны известен (по крайней мере, теоретически). В то же время определение коэффициента поглощения представляет со-

бой сложную задачу в силу неоднородности окружающей выработку среды.

В практике [6] для вычисления поправки на расстояние существуют специальные процедуры и модули. Стоит отметить, что установлена закономерность и имеет место быть соотношение:

$$A_T(t) \approx A_B(t) \cdot V(t), \quad (4)$$

где $A_T(t)$ – функция, компенсирующая потери на затухание;
 $A_B(t)$ – функция, компенсирующая потери на поглощение;
 $V(t)$ – скорость волнового пакета.

Функция, компенсирующая ослабление записи во времени

$$K(t) = C \cdot e^{t \cdot A_T(t)} \cdot V_s^2(t) \cdot t, \quad (5)$$

где C – некоторая константа;
 V_s – эффективная скорость.

Причём для формулы (5) существует некоторое значение времени, после которого $K(t) = const$.

Установлено, что затухание вследствие расхождения происходит по степенному закону (интенсивность обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника) $\sim 1/r_i^2$. Затухание же вследствие поглощения происходит по экспоненциальному закону: на данной длине пробега поглощается всегда одна и та же часть приходящей звуковой энергии $\sim \exp(-\theta \cdot r_i)$ [5], где θ – некоторый параметр. На каждый метр пробега звуковой волны поглощение добавляет одно и то же относительное затухание, а расхождение волн - все меньшее и меньшее относительное затухание. При этом для предлагаемого алгоритма речь о преобладании одного из видов затуханий не ведётся.

Таким образом, для формулы (3) обобщённый весовой множитель запишется в виде $A_j = f(\alpha_j) \cdot d(r_j)$.

Суммарный сигнал может быть вычислен:

$$s_k = s(t_k) = \sum_{j=0}^N f(\alpha_j) d(r_j) s_{k+m_j}^j \left(t_k - \frac{\Delta r_j}{V} \right),$$

а его спектр $S(w)$ в соответствии с теоремой запаздывания может быть оценен функцией вида

$$S(w) = S_0(w) \sum_{j=1}^N f(\alpha_j) \cdot d(r_j) \cdot e^{-iw \frac{\Delta r_j}{V}},$$

где $S_0(w)$ – частотный спектр изначально возбуждённого сигнала;

w – частота.

Перед вычислением суммарного сигнала нужно выбрать точки, для которых будут производиться вычисления. Для этого мы поэтапно предлагаем выполнить следующие операции:

- Выбираем базовую точку O удобным для себя способом, чтобы получить необходимые информационные параметры с интересующего направления.

- Определяем значение стороны h квадрата ячейки разбиения. На данном этапе разработки алгоритма полагаем, что h будет зависеть от значений длины волны λ на участке исследования, но не исключаем также и зависимостей от минимальных расстояний и максимальных удалении по линии источник-приёмник.

- Получив геометрическую сеть в плоскости и значения координат четырёх вершин ячейки, сможем вычислить центр бина, для которого и рассчитаем суммотрассу.

Отметим, что все вычисления суммотрасс для ячеек мы осуществляем в предположении, что имеет место быть гиппотетическое отражение от точки выбранного бина.

Выходом применения разрабатываемого метода станет набор суммотрасс. Для определения корреляционных зависимостей предлагается варьировать размеры ячеек разбиения пространства вокруг выработки.

Работа проведена в рамках НИР «Разработка теоретических основ применения дифрагированных волновых полей для прогноза структуры массива горных пород методом сейсмической локации», выполняемой по договору УкрНИМИ с НАН Украины. В соответствии с планом работ, предлагаемые алгоритмы в настоящий момент реализуются в виде программного обеспечения. Их детальная апробация и внедрение предполагается на последующих этапах исследований.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Анциферов А.В., Глухов А.А., Математическое моделирование в шахтной сейсморазведке, Киев, Наукова думка, 2012 г.
2. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. – Донецк: ООО “Алан”, 2002. – 312 с.
3. Рапопорт М.Б. Автоматическая обработка записей колебаний в сейсморазведке. М., «Недра», 1973. – 184 с.
4. Разработать и внедрить методику оценки основных качественных и количественных параметров малоамплитудных разрывов по данным пластовой сейсморазведки для условий Карагандинского бассейна // Отчет о НИР 0230026100, Заключительный, КарПТИ, Караганда, 1988 г., 120 с.
5. Исакович М.А. Общая Акустика, М., «Наука», 1973. – 496 с.
6. Центральная геофизическая экспедиция МНП СССР. Система СЦС 3. 5 книг. Книга 3. § 6.4.