

МЕТОД ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ КАК СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫБРОСОПАСНЫХ ЗОН УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

Ли Константин Хиунович, научный сотрудник

Родионов Александр Александрович, научный сотрудник

Сороковых Святослав Владимирович, старший научный сотрудник

Научный руководитель: Иванов В.В., д.т.н., проф., ведущий научный
сотрудник

Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопас-
ности в горной отрасли.

Г. Кемерово

Одним из лучших способов решения обратных задач электроразведки является томографическая инверсия [1,2]. При исследовании внутренней структуры пласта его просвечивают излучением. Просвечивая пласт с одного направления, получают плоское (двумерное) теневое изображение трехмерного тела. Просвечивая пласт с другого направления, получают другое теневое изображение и дополнительную информацию о его внутренней структуре. Просвечивая пласт еще с одного направления, получают новую информацию и т.д. Получив высокое количество проекционных снимков с различных направлений, появляется возможность с достаточной высокой точностью восстановить внутреннюю структуру угольного пласта, а точнее функцию плотности поглощения излучения [3]. Внутри каждого среза плотность поглощения $\mu(x,y)$ считают функцией только двух переменных. При исследовании систему источники-приемники устраивают таким образом, чтобы регистрировать только данные на лучах, лежащих в плоскости среза (в плоскости угольного пласта).

Пусть тонкий пучок излучения (в нашем случае - тока) падает на слой вещества. Можно считать, что поглощение в конкретной точке не зависит от направления излучения. Физический закон поглощения состоит в том, что приращение интенсивности излучения (поглощение тока) ΔI пропорционально интенсивности самого излучения I (тока) и длине отрезка Δt , пройденного излучением, т.е.:

$$\Delta I = -\mu \cdot I \cdot \Delta t$$

где μ - коэффициент поглощения, который зависит от точки (от вещества в окрестности точки). Мы также поставили знак минус, поскольку интенсивность излучения уменьшается, т.е. приращение интенсивности ΔI должно быть отрицательно.

Переходя к пределу $\Delta t \rightarrow 0$, получаем закон поглощения в дифференциальной форме:

$$dl = -\mu \cdot l dt \quad (1)$$

Параметр μ называется коэффициентом поглощения или линейным коэффициентом ослабления. Он зависит от точки среды и не зависит от направления луча; его размерность $[\mu] = m^{-1}$.

Понятно, что при электрическом зондировании пласта коэффициент ослабления тем выше, чем меньше удельное электросопротивление угля на луче зондирования и наоборот. Выберем декартову систему координат oxy с центром в геометрическом центре выемочного столба и повернутую на угол φ вокруг начала координат систему ost . Связь между этими координатами определяется из выражений [3]

$$\begin{aligned} x &= s \cos \varphi - t \sin \varphi \\ y &= s \sin \varphi + t \cos \varphi \end{aligned} \quad (2)$$

Пусть зондирование осуществляется вдоль луча $s = const$, при этом координата t меняется от значения t_0 до значения t_k . Разделим переменные в уравнении (1) и проинтегрируем в этих пределах:

$$\ln \frac{I_0}{I_k(s, \varphi)} = \int_{t_0}^{t_k} \mu(x, y) dt = R(s, \varphi), \quad (3)$$

где $R(s, \varphi)$ считается заданной для направлений $0 \leq \varphi < \pi$, поскольку при изменении угла на π «просвечивание» ведется в обратном направлении.

Интегрирование выполняется в области, где функция $\mu(x, y)$ отлична от нуля. На практике это означает, что величина s ограничивается физическими размерами объекта. Задача состоит в восстановлении функции $\mu(x, y)$. Правая часть выражения (3) называется преобразованием Радона (ПР), t_0 и t_k относятся к удаленным точкам прямой и их можно считать равными $-\infty$ и $+\infty$. ПР определено для любой функции двух действительных переменных, которая достаточно быстро убывает на бесконечности так, чтобы соответствующие несобственные интегралы сходились. В приложениях, как правило, используются финитные функции, которые равны нулю вне некоторой ограниченной области, так что предположение о сходимости несобственных интегралов выполняется. И.Радон [3] показал возможность восстановления функции $\mu(x, y)$ по ее интегралам $R(s, \varphi)$ по всем прямым и вывел формулу обращения.

Для выявления аномалий, обусловленных наличием нарушений и выбросоопасных зон угольных пластов, нами был использован способ диполь - дипольного электрозондирования пласта. При этом излучающий (питающий) диполь был расположен в одной из подготовительных выработок, оконтуривающих угольный пласт, а приемный диполь - в другой параллельной выработке. Линии зондирования пласта (линии, соединяющие питающий и приемный диполи) выбирали таким образом, чтобы получить образы Радона $r = R(s, \varphi)$ для разных значений угла φ . Аппроксимация экспериментальных значений

функций $R(s, \varphi)$ для различных значений угла φ осуществлялась с помощью полиномов Лагранжа. Выше на рис. 1 приведен образ Радона для значения угла зондирования, равного сорока пяти градусам.

При электрическом зондировании угольного пласта угол прямых зондирований (луча зондирования) с направлением выработок менялся от $7,5^\circ$ до 45° и от $-7,5^\circ$ до -45° . В результате был получен 21 образ Радона $r(s, \varphi)$. Затем по полученным образам Радона методом двумерной фильтрации [3] восстанавливалась функция поглощения $m(x, y)$.

Выше на рис.2 приведена зона нарушения угольного пласта (выделена красным цветом), полученная по результатам электрического зондирования угольного пласта из параллельных выработок. На этом же рисунке красными линиями показаны границы зоны нарушения по данным геологической службы шахты. Как видно из этого рисунка, границы зоны нарушения с хорошей точностью обнаруживаются и по результатам электротомографии.

Таким образом, метод электротомографии может эффективно использоваться при решении задач по обнаружению выбросоопасных зон в угольных пластах.

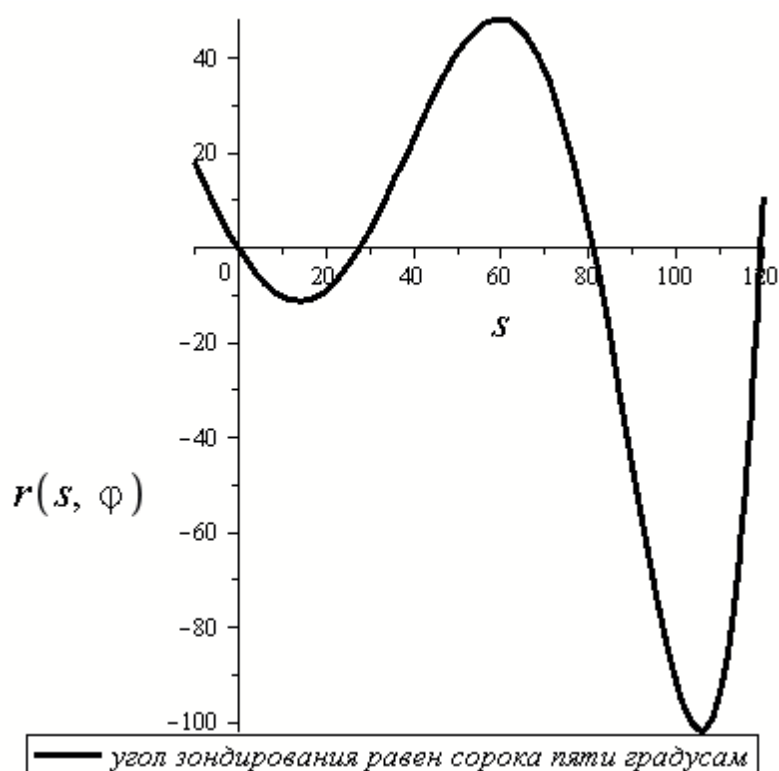


Рисунок 1. Аппроксимация образа Радона полиномом Лагранжа при электротомографии угольного пласта

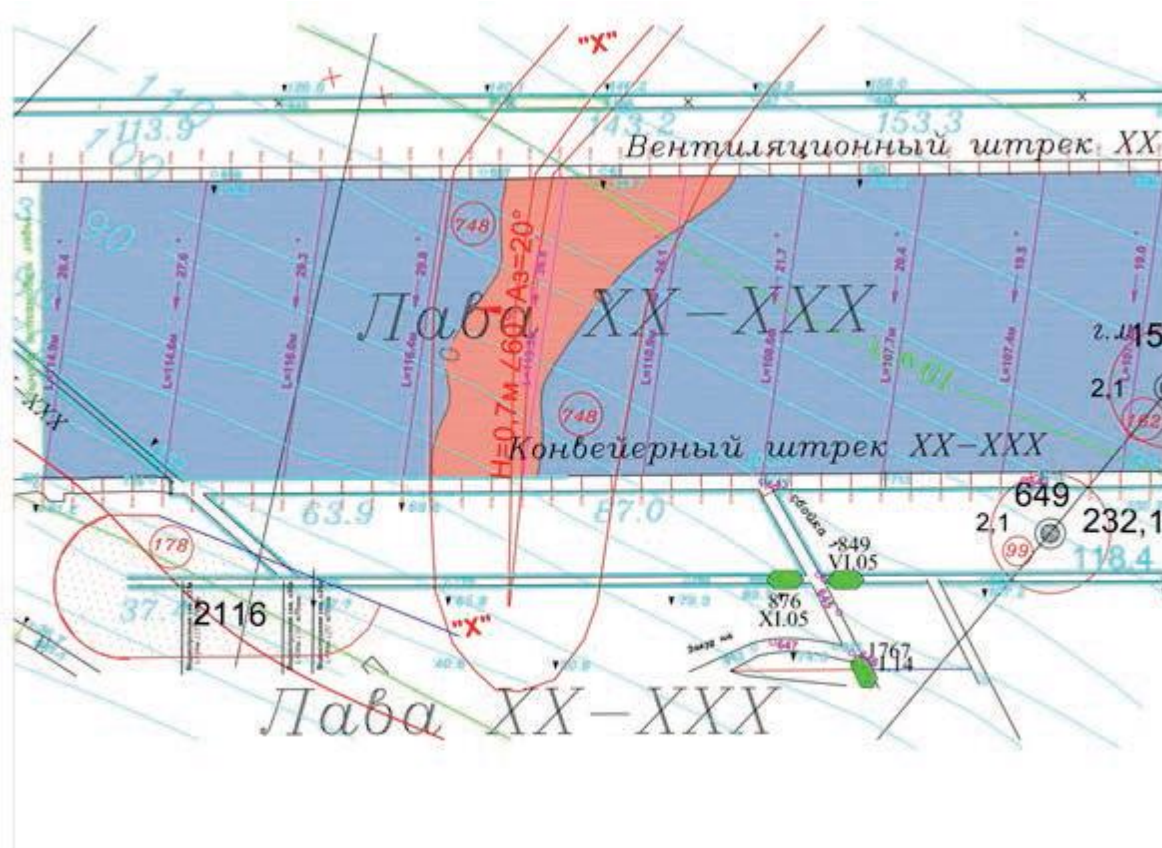


Рисунок 2. Восстановленная методом двумерной фильтрации функция поглощения по результатам диполь-дипольного зондирования угольного пласта.

Список литературы:

1. Могилатов В.С., Эпов М.И. Томографический подход к интерпретации данных геоэлектромагнитных зондирований. //Изв. РАН, Сер.: Физика Земли.- 1999.- N 11
2. Могилатов В.С., Эпов М.И., Исаев И.О. Томографическая инверсия данных ЗСБ-МПШ. // геология и геофизика.- 1999.- N 4. – С.637-644.
3. Доля П.Г. Аналитические методы компьютерной томографии. Изд-во Харьковского университета, 2015.- 139 с.