

ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЯ НА АКВАТОРИЯХ

Андреев Михаил Александрович

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, mikant@mail.ru

В настоящее время появление новой электроразведочной аппаратуры стимулировало стремительное развитие метода кажущегося сопротивления. Существенное повышение объема данных и их пространственной плотности дало толчок к развитию нового промышленного направления в электроразведке, которое получило название электротомографии. Этот метод решает широкий круг задач - от поиска археологических объектов до изучения рудных месторождений, что делает его наиболее перспективным методом электроразведки постоянным током. Наряду с совершенствованием методики съемки, аппарата инверсии данных, очень быстро идет прогресс и в аппаратуре. Необходимо отметить, что сейчас в нашей стране начинается производство электротомографических станций, способных конкурировать с западными образцами.

Отличительными особенностями электротомографии (ЭТ) являются использование одних и тех же электродов рабочей установки, как в качестве питающих, так и приемных, а также арифметический шаг их расположения по профилю. Так, при анализе результатов этого метода на суше несложно выявить характерные искажения разрезов кажущегося сопротивления (КС), а, следовательно, и подавлять их влияние для достижения качественной инверсии, с целью получения высокоточных результатов.

Используемая электротомографическая аппаратура подразделяется на три основные типа: многоканальная, многоэлектродная, а также многоканально-многоэлектродная. Многоэлектродные модификации подразумевают использование коммутатора (обычно, встроенного в станцию) для переключения питающих и приемных (или только приемных) линий во время работы. Многоканальная аппаратура обладает множеством входных линий и позволяет одновременно регистрировать сигнал на нескольких приемных диполях. Чаще используется многоэлектродная аппаратура с подключенной косой на 48 (72, 96) электродов; генератор, измеритель и коммутатор находятся в одном корпусе и вся данная система работает по заданному протоколу измерений.

Вопросу выбора рабочего протокола измерений (оптимальной электроразведочной установки) посвящено множество статей, в которых в первую очередь подробным образом рассматриваются графы чувствительностей рабочих квадруполей, а также и результаты применения их последовательностей (собственно, протоколов) при решении тех или иных задач электроразведки. Наилучшими характеристиками обладают протоколы, составленные из комбинированных установок (AMN+MNB). Получаемые результаты в то же время информативны и позволяют еще перед инверсией сделать выводы о

геологическом строении среды. Такие типы трехэлектродных установок чаще всего используются в отечественной практике для решения задач электротомографии. Для решения специальных задач, используются такой тип, как осевая дипольная установка (АВ-МN), которые в отличие от АМN+МNВ, дают результаты, воссоздающие целостную геоэлектрическую картину среды. Односторонние трехэлектродные установки (АМN или МNВ) менее информативны.

При использовании подвижной рабочей косы (на акваториях) успешно применяется метод Непрерывных Акваторных Зондирований (НАЗ). Он является модификацией метода ЭТ и обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с наземной модификацией: например, на получаемых разрезах КС и кривых Вертикального Электрического Зондирования (ВЭЗ), вследствие постоянства сопротивления слоя воды отсутствуют приповерхностные Р- и С-эффекты. НАЗ пока не очень широко применяется в мировой практике, несмотря на высокую его эффективность. С его помощью в кратчайшие сроки решаются задачи малоглубинной электроразведки, будь то всевозможные археологические изыскания или фациальный анализ донных отложений для последующей прокладки трубопроводов. За последние годы были выполнены разнообразные исследования, имеющие научные и коммерческие цели, по изучению озер и бассейнов рек, в том числе и для оценки возможности прокладки магистрального газопровода «Северный поток» (ОАО «Газпром»). Технология НАЗ предусматривает использование одного обычного низкочастотного генератора тока, а также многоканальной измерительной аппаратуры. Рабочая комплектация станции, используемая в последние несколько лет кафедре геофизических методов исследования земной коры геологического факультета МГУ, включает генератор АСТРА и восьмиканальный измеритель ИМВП-8 (ООО «Nord-West», Москва), а также устройства позиционирования, для привязки получаемых данных со станции к координатам местности в реальном времени. Важно отметить, что при таком подходе имеется возможность получать кривые ВЭЗ с очень высокой частотой, вплоть до 5 независимых кривых в секунду, так как и генерация и прием сигнала осуществляется в реальном времени без задержек и пауз. Таким образом, существенно повышаются возможности метода КС.

В методе НАЗ используется инверсная асимметричная установка Шлюмберже, где питающий диполь един и фиксирован по центру косы, а множество пар приемных линий расходятся от центра к периферии: для всех этих потенциальных пар один из электродов является общим и унесен дальше от центра косы. Это позволяет при относительно небольших размерах косы, к примеру, 100 м, уверенно иметь глубинность измерений – 15 метров. Здесь питающие и приемные линии заменены по принципу взаимности, что позволяет

одновременную поканальную регистрацию сигнала при сохранении его полезной (геологической) компоненты. Такой тип рабочей установки в связи с относительным увеличением длин приемных линий обладает неустойчивостью к помехам. Однако, при цифровой обработке сигналов используются специальные алгоритмы шумоподавления, сильно увеличивающие соотношение сигнал/помеха перед непосредственным получением значения разности потенциалов в приемной линии. При более детальном рассмотрении структуры рабочей установки, при переходе от первого к последнему каналам (от центра к периферии косы), тип рабочих квадрупольей переходит от трех- (AMN) к четырехэлектродным (Шлюмберже). Это приводит к искажению разреза КС в двумерном случае. Для качественного анализа, обработки и инверсии результатов, полученных с помощью трехточечной установки AMN необходимы и данные зеркальной её установки MNB.

Сейчас в стадии отладки находится первая российская электротомографическая станция «Омега-48» (ООО «Логические системы», г. Раменское). Данная разработка обладает 10 измерительными каналами и коммутатором на 48 электродов. По своим функциональным качествам «Омега-48» не уступает французской Syscal (IRIS Instruments) с той лишь разницей, что все управление, сбор, анализ и обработка результатов в российской станции осуществляется на ПК. Работа осуществляется в двух режимах: по протоколу («классическом») и непрерывном, при котором как генерация, так и прием сигнала осуществляются непрерывно. Станция обладает АЦП с настраиваемыми частотами дискретизации: от 78.125 до 880 Гц, выставляемыми временами пропускания: от 0.2048 до 52428.8 сек и скважностью: от 20 до 50%. В качестве рабочих генерируемых сигналов используется разнополярный меандр (прямоугольный импульс) с паузой с регулируемой скважностью. Обработка таких сигналов мало отличается от «классической», применяемой к сигналам типа меандр, но подразумевает возможность выделения компонент поля, как в частотной, так и временной области.

Так как на кафедре геофизических методов исследования земной коры геологического факультета МГУ проводится ряд отладочных измерений для «Омега-48», а также разрабатывается программное обеспечение к этой станции, появилась идея реализовать с её помощью качественно новый вариант НАЗ. Сейчас при использовании режима непрерывной записи и быстрой коммутации появилась возможность проводить полноценную электротомографию на акваториях. Возможно практически в непрерывном режиме проводить измерения различными типами установок, такими как AMN+MNB, а также и АВ+MN и любыми другими. Таким образом, при учете подвижности установки в воде можно выполнять работы методом электротомографии за очень короткие промежутки времени. Так называемые точки записи для каждой из

используемых установок, в силу однородности верхнего приповерхностного слоя (воды) легко привести к стандартным используемым графам разносов, не теряя качества измерений. Следовательно, и получаемые данные легко приводятся к томографическим (при условии фиксированности электродов по профилю) и могут быть подвергнуты двумерной инверсии.

На наш взгляд, данная модификация метода НАЗ является перспективной и состоятельной. Возможность проводить полноценную электротомографию на акваториях может дать существенный прирост производительности метода. Точность наблюдений при таком подходе очень высока, а следовательно, при учете низких затрат на непосредственную реализацию область применения данного метода становится очень широкой.

В настоящее время уже идут работы по написанию программного обеспечения, позволяющего корректно собирать и готовить получаемые данные к программам двумерной инверсии, а также, со стороны разработчиков аппаратуры реализуется возможность быстрой коммутации приемных линий без сброса питающих.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ И ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Белушко Ирина Ивановна

Геологический ф-т МГУ, Москва, rishabel89@mail.ru

Целью интерпретации данных георадиолокации является построение разреза, в котором слои характеризуются комплексом параметров. Такими параметрами являются диэлектрическая проницаемость ϵ и электрическая проводимость σ . Для получения такого результата, во-первых, строится скоростная модель разреза, с помощью которой оцениваются диэлектрические проницаемости слоёв. Оценка производится через соотношение:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{\text{отн}}}}, \text{ где } v \text{ – скорость распространения электромагнитных волн в}$$

среде, c – скорость света и равна 30 см/нс [2]. Во-вторых, строится амплитудная модель (общее изменение амплитуды сигнала с глубиной связано поглощением электромагнитной волны в проводящей среде с изменением удельного электрического сопротивления среды [3]). Уменьшение амплитуды волны с глубиной, или затухание, описывается следующим законом:

$A = A_0 \cdot e^{-bz}$, где b – коэффициент поглощения, z – глубина точки наблюдения, A_0 – начальная амплитуда сигнала, A – амплитуда на глубине z . Таким образом, коэффициент поглощения определяется формулой: