

Решение проблем автоматизации и оптимизации при обработке данных, полученных установкой с закрепленным источником в программно-алгоритмическом комплексе <TEM-IP>

М. А. Корсаков^{1}, Е. Ю. Антонов¹, Н. О. Кожжевников¹*

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: korsakovma@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В статье описана доработанная научно-исследовательской версии программно-алгоритмического комплекса для совместной инверсии данных импульсных индукционных зондирований геологических сред с учетом низкочастотной дисперсии электрической проводимости. В новой версии решаются проблемы групповой обработки результатов измерений с повышенной плотностью, оптимизации прямых задач и групповой обработки данных.

Ключевые слова: импульсные зондирования, индукционно-вызванная поляризация, совместная инверсия

Dealing with automation and optimization problems when processing data measured by array with fixed transmitter in interpretation system <TEM-IP>

М. А. Korsakov^{1}, E. Yu. Antonov¹, N. O. Kozhevnikov¹*

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk,
Russian Federation

* e-mail: korsakovma@ipgg.sbras.ru

Abstract. The paper discusses upgraded version of the computer system for joint inversion transient electromagnetic data in conductive and polarizable geological medium for squared and multi-components TEM soundings. New version is dealing with batch inversion challenges and direct problems optimizations.

Keywords: direct problem, transient electromagnetics, inductively induced polarization, joint inversion

Введение

Интерпретационная система «TEM-IP, v. 1» разрабатывалась как академический инструмент для моделирования и интерпретации данных наземной электро-разведки [1-4]. Основное направление развития системы было связано с необходимостью проводить поточечную и профильную или совместную (от нескольких установок) инверсию данных индукционных переходных характеристик с учётом вызванной поляризации. Система поддерживает интерфейс, позволяющий выполнять количественную интерпретацию данных зондирований методом становления поля в ближней зоне (ЗСБ) и экспортировать результаты инверсии в форматы удобные для представления в виде двумерных и трехмерных геоэлектрических разрезов.

В частности, программный комплекс «ТЕМ-IP, v. 1» показал высокую эффективность при выполнении электроразведочных работ, связанных с поиском таликовых зон в районе Пякяхинского нефтегазового месторождения [5, 6].

Изначально система поддерживала прямые задачи с установками в виде соосных/разнесенных прямоугольных петель, с возможностью учитывать параметры продолжительности импульса и линейного спада тока после выключения источника. Следующим этапом развития системы стал момент, когда потребовалось обрабатывать данные, измеренные установкой с закреплённым источником и большим количеством приемных датчиков, расположенных внутри и снаружи генераторной петли (рис. 1). Такая необходимость появилась при решении задач связанных с определением локаций очагов возгорания в шахтных выработках.

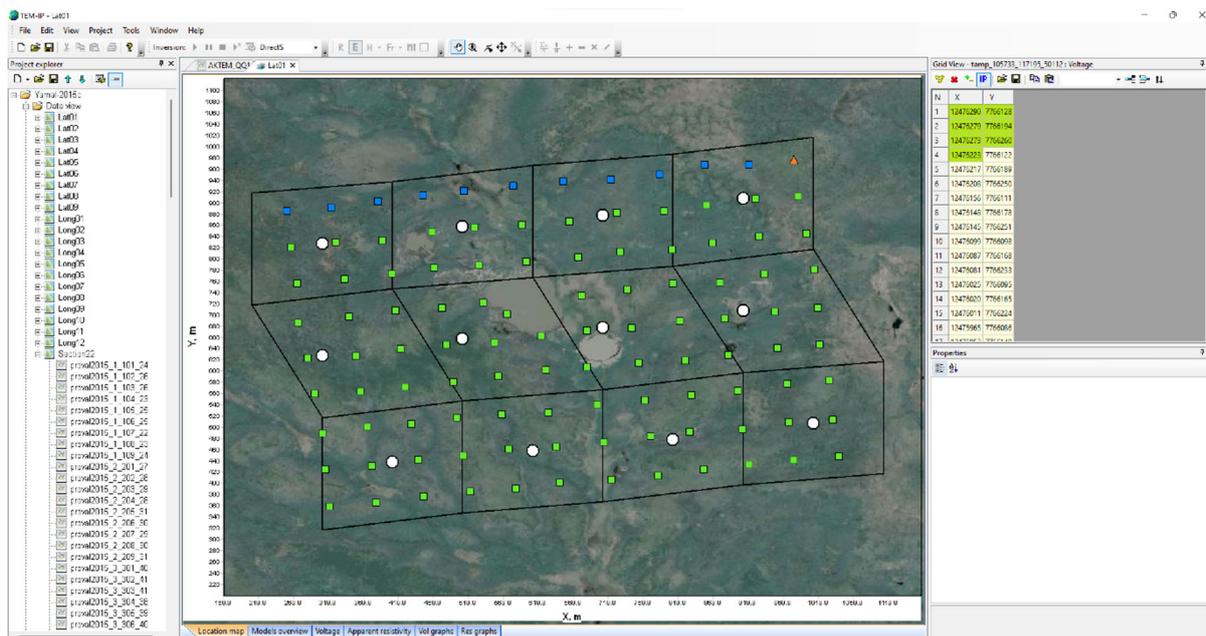


Рис. 1. Схема расположения установок. Измерения с закреплённым источником. Ямальский кратер

Другая проблема, при использовании больших генераторных петель, обычно возникает в местах, имеющих урбанизированный или сложный рельеф. В таких условиях часто форма раскладываемой петли больше походит на контур, представленный в виде замкнутых ломаных линий. Такое представление не всегда можно аппроксимировать геометрическими примитивами (квадрат, прямоугольник), на которые опирается решение прямой задачи. В систему была добавлена прямая задача, где источник воспринимается как набор координат GPS-трека, тогда как приемниками являются диполи. В итоге система получила новый набор инструментов для повышения точности результатов интерпретации.

Разработка новой версии системы ТЕМ-IP

Характерной особенностью современных исследований методом ЗСБ (особенно малоглубинных) становится их большой объём и площадной характер. Это

предъявляет новые требования к совершенствованию автоматизированных методов обработки. Количество данных измерений существенно возросло. Обычными стали проекты, состоящие из тысяч пикетов. Первая версия системы <ТЕМ-IP> оказалась не готовой к обработке данных с очень высокой плотностью измерений. Узким местом системы явилась файловая база данных, в которой на каждый пикет приходилось несколько файлов, содержащих исходные данные измерений и результаты интерпретации. Поскольку некоторые современные проекты могут содержать по несколько тысяч пикетов и более, количество чтений с диска заметно замедляли работу с системой, а порой и вовсе приводило к долгим зависаниям и вылетам. Для решения проблемы было принято решение перейти от распределённой по множеству файлов к единой базе данных, что и послужило причиной к переходу ко второй версии системы.

В новой версии база данных была переписана на широко известную SQLite. База отлично подходит для работы с индивидуальными программами и поддерживает основные возможности SQL базы данных. Поскольку на диске компьютера база представлена в виде файла в сжатом виде и загружается, во время работы, в оперативную память, скорость работы программы значительно повысилась, что устранило трудности при работе с большими проектами в системе. Для работы с новой базой обновилась архитектура системы, в которой были использованы шаблоны проектирования на основе предметной области (DDD: Domain Driven Design). Основные таблицы базы данных и некоторые их связи представлены на рисунке 3.

Вместе с тем в программе сохранилась обратная совместимость со старыми проектами. Во время загрузки головного проектного файла предыдущей версии система автоматически проводит конвертацию данных на новую версию базы данных. Более того, была обеспечена полная поддержка внутренних форматов данных, из которых состояла старая база данных. Среди них файл с набором моделей геоэлектрической среды, а также результирующие файлы с результатами интерпретации.

Другая проблема работы с большими данными заключена в том, что интерпретатор неизбежно сталкивается с однотипной рутинной работой, которая требует оптимизации рабочего процесса. В рамках работы над второй версией системы в программу был добавлен ряд инструментов, призванный уменьшить время обработки проектных данных и повысить информативность данных проекта.

Особо было уделено внимание оптимизации решения обратной задачи. Ранее было показано, что прямые задачи содержат ресурсоемкие циклы, распараллеливание которых способно обеспечить линейное ускорение (рис. 2) [7]. Поэтому прямые задачи системы были по возможности распараллелены. В то же время в системе стали использовать библиотечные функции с поддержкой многопоточных вычислений. Использование современных практик параллельных вычислений вместе с возможностями группового подбора инвертируемых данных существенно снизило временные затраты при подборе переходных характеристик экспериментальных данных. Помимо этого, было перенесено кэширова-

ние интегральных квадратур для преобразования Ханкеля из файла в оперативную память, чтобы избежать их повторного чтения перед каждым запуском прямой задачи.

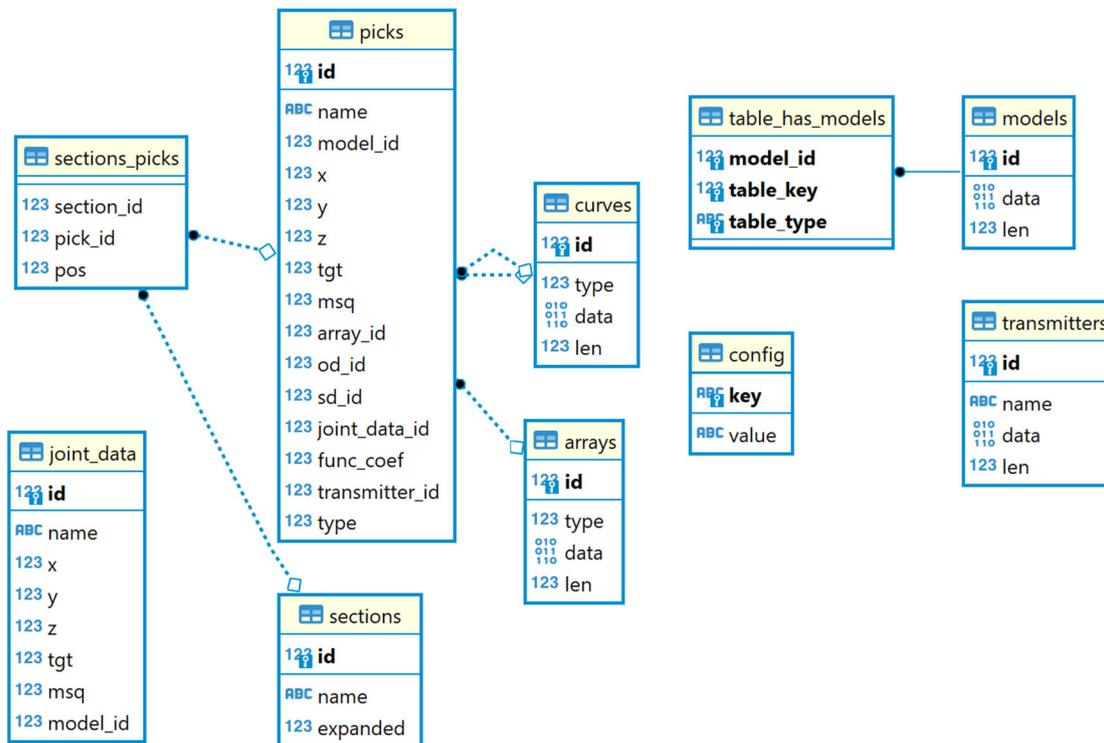


Рис 3. ER-диаграмма базы данных системы, показывающая взаимоотношение между сущностями системы

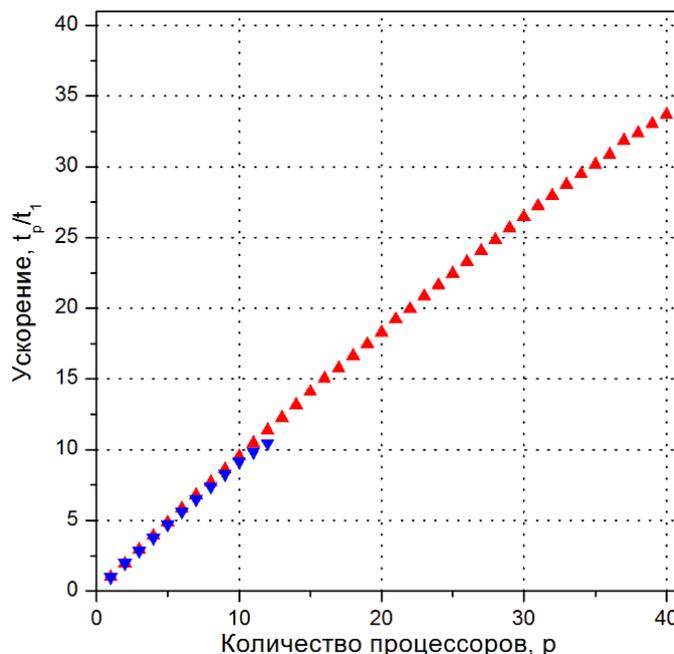


Рис. 2. Иллюстрация линейного ускорения прямой задачи в зависимости от количества используемых процессоров

Располагая таким мощным инструментом, как групповая интерпретация, очень важно выбрать удачную общую для группы стартовую модель. Для этого необходимо производить классификацию (группировку) данных по некоторым общим признакам, например: по отношению к типу разреза или наличия/отсутствия признаков вызванной поляризации.

Как известно, на ранних временах данные частично несут информацию об измерительном тракте, а на поздних более всего подвержены зашумлению. Исходя из этого, выбирая общий интервал обработки для большой группы данных, измеренных одной установкой, нужен специальный инструмент, позволяющий выбирать такой интервал. В новой версии программы такой инструмент был реализован.

При оценке данных, осложненных эффектами вызванной поляризации, важно оценить степень влияния эффекта на переходную характеристику. Для этого, уже при загрузке экспериментальных данных в проект, система проводит сплайнирование и последующее вычисление первых и вторых производных, для каждой кривой. Основываясь на полученных результатах, система распределяет загружаемые данные по четырём категориям: 1- эдс без ВП; 2- с явно выраженным эффектом ВП (2-кратная и более смена полярности эдс); 3, 4- более слабыми проявлениями ВП, которые определяются по первой (3) или второй(4) производной эдс по времени.

Выводы

Была представлена новая версия системы с обновлённой архитектурой и базой данных, что обеспечило поддержку проектов состоящих из большого количества результатов измерений. С помощью методов параллельных вычислений были оптимизированы прямые задачи.

В наши дни, в связи с постоянным ростом количества физических и логических ядер процессора, выигрыш от оптимизации стал существенен и сравнился по скорости с задачей на основе метода аппроксимации горизонтально-слоистой среды системой S-плёнок Шейнмана [8].

Система обрела ряд инструментов и групповых операций позволяющий подготавливать данные к интерпретации. В частности были добавлены алгоритмы анализа переходных характеристик на влияние эффекта вызванной поляризации.

Все сказанное вкуче с автоматизированной инверсией существенно снизили временные затраты на обработку больших проектов.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ FWZZ-2022-0024 «Геоэлектрические и электромагнитные методы исследования верхней части земной коры: теория, модели, эксперимент».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонов Е.Ю., Кожевников Н.О., Корсаков М.А. «ТЕМ-IP» – Система для интерпретации данных индукционных импульсных зондирований поляризующихся сред [Электронный ресурс] // Первая международная научно-практическая конференция по электромагнитным методам исследования «ГЕОБАЙКАЛ-2010», Иркутск, 2010. – 2с.

2. Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю. Совместная инверсия данных МПП с учетом индукционно-вызванной поляризации // Геология и геофизика. – 2009а. - Т. 50. - №2. - С. 181-190.
3. Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю. Импульсная индуктивная электроразведка поляризующихся сред // Геофизический журнал. – 2009б. - Т. 31. - № 4. - С. 104-118.
4. Корсаков М.А., Антонов Е.Ю., Кожевников Н.О. Программно-алгоритмическая система для моделирования и совместной интерпретации данных импульсных индукционных зондирований с учётом вызванной поляризации // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр., 15-26 апреля 2013 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: сб. материалов в 3 т. Т. 2. – Новосибирск: СГГА, 2013. – С. 182 – 186.
5. Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю., Корсаков М.А., Захаркин А.К. Проявления и учёт индукционно-вызванной поляризации при поисках таликовых зон в районе Пяяхинского нефтегазового месторождения // ГЕО-Сибирь-2012. Т. 1. Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Ч. 1: сб. матер. VIII Междунар. Науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2012», 10-20 апреля 2012 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 168-173.
6. Антонов Е.Ю., Кожевников Н.О., Захаркин А.К., Корсаков М.А. Поиск таликов методом ЗСБ в условиях интенсивного проявления индукционно-вызванной поляризации // Геология и геофизика. . – 2014. – Т. 55(12). – С. 1815-1827.
7. Антонов Е.Ю., Кожевников Н.О., Корсаков М.А. Автоматизированная система для интерпретации данных индукционных импульсных электромагнитных зондирований с учетом индукционно-вызванной поляризации // Геология и геофизика. –2014. –Т. 55(8). – С. 1282-1293.
8. Эпов М.И., Дашевский Ю.А., Ельцов И.Н. Автоматизированная интерпретация электромагнитных зондирований. (Препринт / ИГиГ СО АН СССР; № 3). - Новосибирск, 1990. - 29 с.

© М. А. Корсаков, Е. Ю. Антонов, Н. О. Кожевников, 2022