

Программа Modem3D для расчета нестационарных электромагнитных полей в сложных трёхмерных средах

А.Н. Шеин, Е.Ю. Антонов, Кожевников Н.О. – Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (ИНГГ СО РАН), Новосибирск, Россия

И.А. Кремер, М.И. Иванов – ЗАО «Центр РИТМ», Новосибирск, Россия

В последние два десятилетия в России (Друскин В.Л., Книжнерман Л.А., Табаровский Л.А., Эпов М.И., Рабинович М.Б., Шурина Э.П., Штабель Н.В., Соловейчик Ю.Г., Персова М.Г. и др.) и за рубежом (Newman G.A., Hohmann G.W., Anderson W.L., Zhdanov M.S., Everett M.E. и др.) достигнут большой прогресс в разработке программных средств трёхмерного моделирования электромагнитных полей, измеряемых методами импульсной электроразведки. Однако, до настоящего времени для интерпретации данных нестационарных электромагнитных зондирований используются в основном одномерные модели, либо приближённые решения двумерных и трёхмерных задач. Это связано с тем, что основным препятствием для многомерной инверсии данных импульсных электромагнитных зондирований являются всё ещё высокая ресурсоёмкость и невысокая скорость решения прямых задач. В связи с этим актуально ускорение расчётов и всестороннего тестирования средств моделирования полей в трёхмерных постановках.

В докладе рассматривается программа расчёта нестационарных электромагнитных векторных полей в трёхмерных проводящих и поляризующихся средах Modem3D (авторы Кремер И.А., Иванов М.И.). Задача становления электромагнитного поля решается векторным методом конечных элементов на неструктурированной трёхмерной тетраэдральной сетке. Результаты расчётов тестировались с использованием программы UnvQQ (авторы Антонов Е.Ю., Эпов М.И.), позволяющей моделировать нестационарный электромагнитный сигнал в слоисто-однородных проводящих средах с учётом вызванной поляризации. Сравнение расчётов для слоистых сред для моделей разной сложности показало хорошее совпадение результатов (относительное отклонение $< 1\%$) при малых контрастах сопротивлений (< 100) и сравнимых с размерами установки мощностях слоёв.

На следующем этапе исследовалась зависимость решения от способов построения пространственной и временной сеток. Отличия решений могут достигать нескольких процентов (2-5%), но при сгущении сетки они уменьшаются. Кроме этого исследовалась зависимость решения прямой задачи от положения установки относительно границ расчётной области: при смещении установки относительно центрального положения ошибка вычислений может возрасти до 5%. Исследование позволило оптимизировать соотношение точности расчётов и временных затрат на вычисления, обусловленные необходимостью сгущения сетки. Другой особенностью программы, которую стоит отметить, является оптимальный выбор временной сетки. Во-первых, при недостаточном количестве расчётных времен отклонение от одномерного расчёта на поздних временах может быть значительным (5-10%). Во-вторых, при использовании нескольких временных сеток, в точках их неудачной сшивки может образовываться негладкое поведение расчётного сигнала.

Как уже отмечалось выше, математическое моделирование нестационарных полей в сложных геологических средах является очень ресурсоёмким. Для повышения производительности программы Modem3D было предпринято распараллеливание алгоритма, позволившее использовать многоядерность современных процессоров. Также для выполнения массовых расчётов при тестировании была выполнена адаптация программы Modem3D для работы в системе распределённых вычислений (GRID-система), организованной в ИНГГ СО РАН.

Выполненные тестовые расчёты и результаты распараллеливания алгоритма программы показали, что программный комплекс Modem3D имеет большие перспективы для встраивания в системы интерпретации площадных зондирований методом становления поля с использованием GRID-систем и кластерных суперкомпьютеров.