

Особенности программы для расчёта нестационарных электромагнитных полей в трёхмерных средах Modem3D

Шеин Александр Николаевич

*Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории геоэлектрики
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой
геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Новосибирск
SheinAN@ipgg.sbras.ru, (383)3304122*

В последние два десятилетия как в России так и за рубежом достигнут большой прогресс в разработке программных средств трёхмерного моделирования электромагнитных полей, измеряемых методами импульсной электроразведки. Прежде чем представить программный комплекс общественности, специалисты должны провести тестирование и выработать рекомендации пользователям по использованию программы, а разработчикам – по совершенствованию научного продукта. Такое пользовательское тестирование было проделано для программы расчёта нестационарных электромагнитных векторных полей в трёхмерных проводящих и поляризующихся средах Modem3D (авторы Кремер И.А, Иванов М.И.) [1]. Задача становления электромагнитного поля решается векторным методом конечных элементов на неструктурированной трёхмерной тетраэдральной сетке. Для повышения производительности программы Modem3D используемые алгоритмы были распараллелены, что позволяет 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 [2].

Первое, что необходимо сделать при тестировании новой программы – это сравнить результаты расчёта в программе Modem3D с уже известными и проверенными программами. В данном случае это программа UnvQQ (авторы Антонов Е.Ю., Эпов М.И.) [3], позволяющая моделировать нестационарный электромагнитный сигнал в слоисто-однородных проводящих средах. Также для тестирования использовалась программа ZSB3D (автор Могилатов В.С.) [4], которая рассчитывает нестационарный сигнал от горизонтально-слоистой среды с трёхмерными неоднородностями в виде параллелепипедов. Автор данной программы использует Борновское разложение по малому параметру. Сравнение расчётов для слоистых сред для моделей разной сложности показало хорошее совпадение результатов (относительное отклонение $< 1\%$) при малых контрастах сопротивлений (отношение сопротивлений соседних слоёв меньше одного порядка) и сравнимых с размерами установки мощностях слоёв. Если же у нас будут значительные контрасты (в 10 и больше раз) по сопротивлению и/или тонкие слои (относительно размеров установки), то достижения совпадения с одномерным расчётом будет сопровождаться возрастанием размеров сетки. Ниже представлены модели сред, содержащих тонкий слой (таблица 1), для

которых проводилось тестирование программы Modem3D. Для расчетов использовалась соосная установка с генераторной петлёй 500x500 м и приёмной петлёй - 75x75 м. Программой Modem3D было рассчитано 2 модели с мощностью первого слоя 300 м (модель 1а) и 150 м (модель 1б). Затем вычислялась относительная ошибка в сравнении с результатами расчетов программой UnvQQ. Результаты сопоставления представлены на рисунке 1.

Таблица 1 Модели для тестирования программы Modem3D для сред с тонким слоем

<i>Модель 1а</i>			<i>Модель 1б</i>		
№Слоя	ρ , Ом	h, м	№Слоя	ρ , Ом	h, м
1	35	300	1	35	150
2	4		2	4	

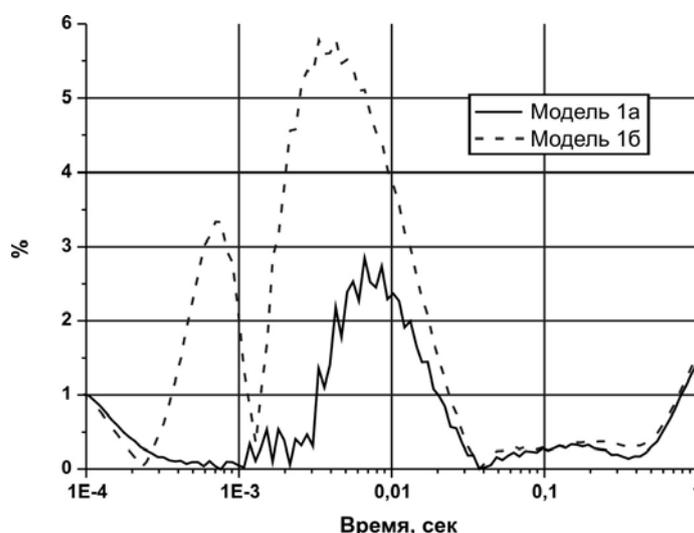


Рис. 1. Относительные отклонения расчета программой Modem3D от одномерного расчета (программа UnvQQ) сплошная кривая - модели 1а, пунктирная кривая – модель 1б.

На рисунке 1 видно, что уменьшение мощности слоя приводит к возрастанию ошибки вычисленной относительно результатов одномерного расчета программы UnvQQ: для мощности слоя 300 м ошибка не превышает 3% (рис. 1, сплошная кривая), однако при уменьшении мощности слоя до 150 м, ошибка увеличивается до 6% (рис. 1, пунктирная кривая). Очевидно, что вероятность возникновения таких ситуаций в случае многослойной модели возрастает с увеличением количества слоев. Тем не менее, программа Modem3D позволяет почти всегда оптимизировать сетку и добиться необходимой точности расчета.

Следующая особенность, которую необходимо отметить – это зависимость решения от положения установки относительно границ расчётной области: при перемещении установки относительная ошибка вычислений может достигать 5%. Стоит сказать, что при расчете в программе Modem3D чаще всего центр расчетной области совпадает с центром декартовой системы координат. Если взять за «эталонный» расчет кривую становления в центре расчетной области, то рассчитав несколько других положений установки, можно найти ошибку

максимальное значение (рис 3б, кружки) и стандартное отклонение (рис 3б, квадратики). Эти значения по профилю составляют представленные на рис. 3б графики. Хорошо видно особенные точки – максимумы при положениях установки 500 м и 1500 м от центра. Очевидно, что такие отклонения будет сохраняться для всех точек с положением установки $(2*i-1)*500$, где i – целое число. Расчеты показали, что в случае одномерной среды такое же поведение сигнала будет при движении установки по диагонали (т.е. по обеим координатам). Предполагается, что такое поведение обусловлено разбиением расчетной области. Сначала строится крупная сетка, тетраэдры в которой сравнимы с размерами установки. Затем происходит разбиение (сгущение) области вблизи источника до тех пор, пока не будет достигнута нужная точность. Тем не менее, при разбиении изначальная сетка сохраняется в виде «скелета» - основы. В нашем случае основа состоит из тетраэдров, сторона которых кратна 500 м. Как и в первом случае, проблема решается глубоким анализом и сгущением расчетной сетки вблизи источника. Нет сомнений, что такая особенность программы Modem3D может повлиять на результат при обработке реальных площадных данных. Таким образом, можно резюмировать, что на данном этапе исследователям необходимо тщательное тестирование модели на предмет устойчивости к перемещению установки.

Приведенным выше особенностям стоит уделять особое внимание, однако существует ряд моментов, которые легко преодолеваются, тем не менее, о которых стоит помнить. Например, необходимым тестом стоит считать тест на достаточность расчётной области: если при увеличении расчетной области полученный сигнал не изменился, то область достаточна. Другая, не менее важная рекомендация при площадном моделировании, которой нужно придерживаться – необходимо контролировать количество узлов сетки, попадающих в приемник: чем больше узлов сетки попадает в приемник, тем точнее решение. Центры установок, по возможности, должны размещаться в узлах сетки.

Другой особенностью программы Modem3D, 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%). Оптимальным количеством времен, как правило, является 20 временных отсчетов на декаду. Во-вторых, при использовании нескольких временных сеток, в точках их неудачной сшивки может образовываться негладкое поведение расчётного сигнала.

В результате проведенного тестирования программного комплекса Modem3D установлены следующие рекомендации по использованию программы, которые гарантируют необходимую точность расчета:

При работе с программой Modem3D рекомендуется уделять особое внимание двум моментам: тестирование моделей на совпадение с одномерными расчётами и на зависимость расчета от положения установки.

Существует ряд рекомендаций, которых необходимо придерживаться при моделировании в программе Modem3D: тестирование на достаточность области, оптимальный выбор временной сетки и др.

Несмотря на ряд особенностей при расчетах, программный комплекс Modem3D имеет большие перспективы для встраивания в системы интерпретации площадных зондирований методом становления поля, а также решения сложных интерпретационных и модельных задач.

Литература

1. Иванов М.И. Программное обеспечение Modem3D для интерпретации данных нестационарных зондирований с учетом эффектов вызванной поляризации [Текст] / М.И. Иванов, В.А. Катешов, И.А. Кремер, М.И. Эпов // Записки Горного института. – 2009. – Т. 183. – С. 242 – 245.
2. Мартьянов А.С. Использование свободных сетевых ресурсов предприятия для решения емких вычислительных геофизических задач [Текст] / А.С. Мартьянов, Д.В. Тейтельбаум, К.С. Сердюк, А.А. Власов, И.Н. Ельцов // Каротажник. –2011. – № 11(209). – С. 56-64.
3. Kozhevnikov N.O. Inversion of TEM data affected by fast-decaying induced polarization: numerical simulation experiment with homogeneous half-space [Text] / N.O. Kozhevnikov, E.Yu. Antonov // Journal of Applied Geophysics. – 2008. – №66. – P. 31–43.
4. Могилатов В.С., Захаркин А.К., Злобинский А.В. Математическое обеспечение электроразведки ЗСБ. Система «Подбор» [Текст] / В.С. Могилатов, А.К. Захаркин, А.В. Злобинский; науч. ред. д.г.-м.н. Н.О. Кожевников; Ин-т нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; Сибирский науч.-исслед. ин-т геологии, геофизики и минерального сырья. - Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007 г. - 157 с. - ISBN 978-5-9747-0067-5.