Рецензия на книгу Н. Л. Миронцова "Численное моделирование электрометрии скважин"

© *Я. М. Хазан, 2013*

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 22 февраля 2013 г.

Представлено членом редколлегии В. И. Старостенко

Мой внук, загадывая мне загадку, обязательно просит: "Угадай с трех раз!", и, если я угадываю с первого раза, сердится: "Я же просил с трех!". Если бы он догадался спросить меня о содержании недавно вышедшей книги Н. Л. Миронцова [2012], я бы не угадал ни с трех, ни с пяти раз. Действительно, можно предполагать, что книга обещает, судя по ее названию, изложение методики интерпретации данных зондов электрического и индукционного каротажа различного типа, включая самые современные, позволяющие определять полный девятикомпонентный тензор проводимости (а иначе зачем книжку писать?). Я ожидал бы также найти в такой книге последовательный вывод, начиная с уравнений Максвелла (поскольку речь идет об электродинамике), систем уравнений, описывающих скважинные наблюдения. Логично было бы предположить, что далее рассматривается серия постепенно усложняющихся задач, от допускающих аналитическое или полуаналитическое решение до требующих сложного численного анализа. Наверняка в такой книге должны быть детально описаны численные схемы решения задач электрического и индукционного каротажа с обсуждением сходимости и устойчивости, методов оптимизации и ускорения вычислений (фактически, сейчас уже требуется решать задачи каротажа непосредственно в процессе бурения). Кроме того, если, конечно, автор хотел бы, чтобы его разработки пошли в дело, должны быть сформулированы стандартные тестовые задачи, на которых каждый желающий мог бы проверить свое программное обеспечение, а заодно убедиться в том, что предлагаемый метод работоспособен.

Из широкого использования сослагательного наклонения в предыдущем абзаце читателю уже ясно, что ничего из перечисленного (точнее, почти ничего) в рецензируемой книге нет. Зато есть огромное количество грубейших ошибок.

В целом книга построена по принципу частушки, в которой, как известно, первые две строки не имеют никакого отношения к последним. Помимо того, что заглавие книги имеет, как указано выше, очень мало общего с ее содержанием, книга распадается на две части, из которых первая (я отношу к ней главу 3 — две первые главы чисто обзорные) содержит справочные материалы, приведенные исключительно для красоты и не используемые впоследствии. В частности, никакие уравнения не выводятся из уравнений Максвелла (§ 3. 1—3. 4), не используются никакие разностные схемы высокого порядка аппроксимации (§ 3. 6) и никакой численный счет не выполняется методом конечных элементов (§ 3. 7). Единственное исключение — выписана простейшая конечно-разностная схема решения уравнения Лапласа на двумерной прямоугольной сетке. При этом соответствующую систему линейных уравнений предлагается решать методом Крамера, чего уже давно никто не делает, поскольку это очень затратный в смысле ресурсов метод.

Вся информация в третьей главе рецензируемой книги легко доступна в интернете (напомню, что адресатами книги Миронцова, вроде бы, являются те, кто свое рабочее время проводит за компьютером), поэтому глава бесполезна. При этом, однако, она безвредна, только если безошибочна. В последнем полной уверенности нет. Например, на с. 97 в уравнениях (3. 8. 7. 1) и (3. 8. 7. 2) коэффициенты индуктивности и самоиндукции имеют размерность времени (вместо $\text{Гн} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{А}^{-2} \cdot \text{с}^{-2}$). Более того, в уравнении (3. 8. 7. 2) интеграл является расходящимся, о чем, например, предупреждается в учебнике И. Е. Тамма, на который ссылается Миронцов.

Главы 4—6 посвящены авторским "находкам", и количество ошибок здесь впечатляет. Поскольку жанр рецензии предполагает некоторую ограниченность объема, я укажу только некоторые, наиболее грубые из них.

В главе 4 предлагается "новый метод" оперирования погрешностями измерений, который находится в полном противоречии не только со стандартными методами статистики, но и с элементарным здравым смыслом. Допустим, что некоторая величина измеряется несколько раз. Миронцов предлагает каждому измерению приписать интервал $(A_i \pm \sigma_i)$, где A_i и σ_i — результат и формальная погрешность одного измерения. Теперь, как утверждает уравнение (4. 4. 5) на с. 122, следует считать, что интервал, в котором находится значение измеряемой величины, следует определять как пересечение всех интервалов $(A_i \pm \sigma_i)$ для всех измерений. Эта "идея" иллюстрируется рис. 5. 2 на с. 142 и нашим рисунком, из которого видно, что, "по Миронцову", чем сильнее различаются два измерения, тем точнее определен результат, т. е. чем больше разброс, тем лучше! Еще в большем противоречии со здравым смыслом находится ситуация, когда выполнено много измерений некоторой величины. Чем больше измерений, тем больше вероятность того, что среди них возможны два измерения, лежащие на "хвостах" функции распределения, для которых интервалы $(A_i \pm \sigma_i)$ не имеют общих точек. Это означает, что пересечение двух этих интервалов, а значит, всех интервалов для всех измерений образует пустое множество, т. е. для этого случая, для которого есть очевидный, правильный и статистически хорошо обоснованный ответ, вообще невозможно указать правильный результат измерений, действуя "по Миронцову".

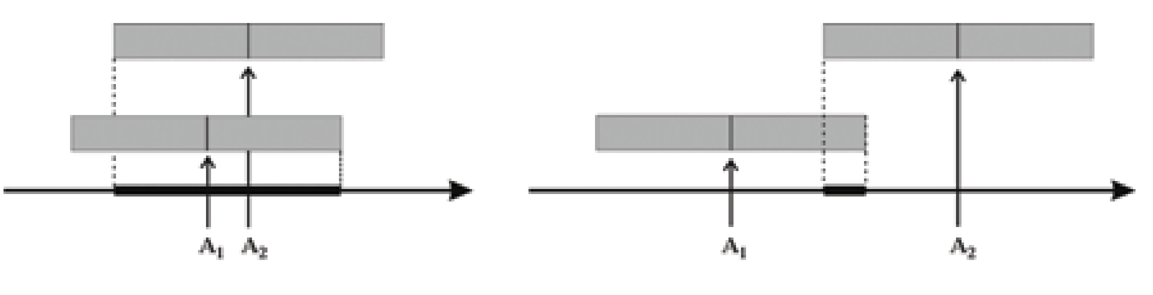
Глава 5 посвящена изложению "нового метода" решения обратной задачи. Предлагается искать решение, минимизируя следующий функционал (уравнение (5. 3. 1) на с. 146).

Здесь и измеренные, и рассчитанные величины.

В книге не объясняется, откуда следует, что минимизация такого функционала позволит получить искомое решение задачи, т. е. приведет к модели, которая согласует измеряемые и рассчитываемые значения. А между тем, это абсолютно не очевидно. В частности, на той же с. 146 Миронцов утверждает, что λ_i — это "... величины погрешности инверсии при заданных величинах погрешности измерений ...". Погрешность инверсии — это нечто, что убывает при улучшении решения обратной задачи и возрастает в противном случае. Из выражения для функционала очевидно, что с увеличением λ_i значение функционала уменьшается, т. е. минимизация функционала, предлагаемого Миронцовым в качестве одного из главных достижений, приводит не к уменьшению, а к увеличению погрешности решения обратной задачи. Вместе с тем с приближением рассчитанных значений к измеренным числители дробей под знаком суммы убывают, но одновременно должна убывать и погрешность аппроксимации, которая стоит в знаменателе. Как при этом поведет себя функционал, совершенно не очевидно. Без специального исследования сказать это невозможно. Никаких указаний в книге на то, что такой анализ проводился, нет.

Казалось бы, при таком сложном характере поведения функционала следовало бы очень тщательно выбирать значения λ_i, и детально объяснить, как они вычисляются. Вместо этого в книге написано:

"Вопрос выбора λ_i требует формализации выбора нормы в пространстве G. Естественно, такой выбор не может быть сделан объективно без учета специфики решаемой задачи ... Однако эмпирическим (! — Я. Х.) путем ... был выбран следующий способ задания величин λ_i:



A_1, A_2 — результаты двух измерений. Серые поля — интервалы $A_{1,2} \pm \sigma_{1,2}$, черные — интервалы, в которых содержится результат измерений "по Миронцову".

λ_i — это объем минимального m-мерного параллелепипеда в m-мерном пространстве (m — количество параметров модели), в который может полностью поместиться область $\mathbf{g}+\delta\mathbf{g}$".

За всем словесным наукообразием кроется совершенно тривиальное и при этом абсолютно неправильное утверждение.

Пространство G, "по Миронцову", — это пространство измеряемых величин (с. 120). Координаты векторов $\mathbf{g}+\delta\mathbf{g}$, являющихся элементами в данном пространстве, — это интервалы типа $(A_i \pm \sigma_i)$, где A_i, σ_i — значение и среднеквадратичная погрешность i-й измеряемой величины ($i = 1, \ldots, m$). Объем m-мерного параллелепипеда вычисляется точно так же, как площадь прямоугольника или объем трехмерного параллелепипеда и равен просто произведению длин его ребер, т. е. $V = (2\sigma_1)\,(2\sigma_2) = (2\sigma_m)$.

Совершенно очевидно, что это произведение не может играть роль величины, влияющей на минимизацию функционала, потому что величин λ_i должно быть столько, сколько измеряемых параметров, а "объем m-мерного параллелепипеда" может быть только один. К тому же он зависит только от погрешностей регистрации и потому не влияет на процесс минимизации.

Только в одномерном случае, когда обратная задача решается по единственному (! — Я.Х.) измерению, использование объема "m-мерного параллелепипеда" не является полностью бессмысленным (при этом он, правда, вообще не нужен). Именно этот единственный пример значения параметра λ приведен на с. 146: "Для одномерного случая это как раз и будет длина допустимого интервала значений параметра". Характерно, что автор здесь же обещает: "Результаты для двух и более мерных случаев приведены дальше". Это "дальше" отсутствует.

В главе 6 рецензируемой книги концентрация несообразностей особенно велика. На с. 158 определяется неизвестный ранее "метод", который автор называет "факторизация обратной задачи". Приведем цитату (с. 158):

"Суть [факторизации] состоит в разделении одной двумерной задачи на две независимые одномерные, при этом вначале решается задача вдоль оси скважины. Решение же одномерной обратной задачи вдоль пласта (который после факторизации считается бесконечно мощным) не представляет труда".

Таким образом, то, что называется "факторизацией", в действительности представляет собой очень грубое приближение к решению двумерной задачи. В приведенном определении "факторизации" отсутствует принципиально важная подробность: чтобы решать задачу вдоль скважины как одномерную, нужно задаться какой-то зависимостью всех величин от радиуса. Решение зависит от того, как это сделать. Очевидно, что этот способ вносит очень значительный произвол в решение и, естественно, не имеет ничего общего с методом разделения переменных, широко применяемым в математической физике в ситуациях, когда это возможно (некоторые подробности можно найти в известном учебнике А. Н. Тихонова и А. А. Самарского по уравнениям математической физики).

В той же главе 6 предлагается "новый метод" решения уравнения типа свертки. Известно, что применение преобразования Фурье к интегралу свертки превращает его в произведение фурье-образов. "Нововведение" Миронцова сформулировано на с. 159: "Воспользуемся теоремой о свертке, записанной ... относительно не интеграла Фурье, а ряда". В теореме о свертке никакого упоминания о рядах нет и быть не может, поскольку ряды Фурье задаются на конечном отрезке, в отличие от интеграла свертки, который вычисляется по всей оси. В общем, подход Миронцова — это попытка использовать результаты математической теоремы за пределами ограничений, задаваемых ее условием. Аналогией может быть, например, применение теоремы Пифагора к непрямоугольным треугольникам. Все дальнейшее, основывающееся на этой "идее", нет смысла обсуждать в силу полной ошибочности исходных положений.

Этот, далеко не исчерпывающий список замечаний показывает, что рецензируемую книгу трудно рекомендовать для ознакомления с современными идеями в методике интерпретации данных электрического и индукционного каротажа.

Список литературы

Миронцов Н. Л. Численное моделирование электрометрии скважин. — Киев: Наук. думка, 2012. — 223 с.