



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P10-94-44

Е.И.Литвиненко, Ю.В.Обухов

ПРОГРАММА ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАГНИТНОГО  
МОМЕНТА ОБРАЗЦА ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ  
НА СКВИД-МАГНИТОМЕТРЕ

1994

Программа восстановления магнитного момента образца при измерениях на СКВИД-магнитометре

Предложен метод обработки сигнала СКВИД-магнитометра на основе решения уравнения свертки. Метод позволяет получить распределение магнитного момента исследуемого образца по координате. Оцениваются ошибки метода. Разработана программа обработки с удобным пользовательским интерфейсом как приложение для Microsoft Windows 3.1.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1994

Перевод авторов

Litvinenko E.I., Obukhov Yu.V.

P10-94-44

A Computing Program of Sample Magnetic Moments Recognition for SQUID-Magnetometer Measurements

A method of SQUID-magnetometer signal analysis, based on the convolution equation solution, is proposed. This method allows one to obtain the local distribution of magnetic moments by coordinates for a sample to be under investigation. The errors of the method are estimated. A computing program with a user friendly interface has been developed for Microsoft Windows 3.1 application.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

## 1. Постановка задачи

При измерении магнитного момента образца на СКВИД-магнитометре [1, 2] источником сигнала может являться не только момент образца, но и другие "паразитные" моменты - к примеру, держатель образца или ферромагнитная пыль. При этом возникает задача расшифровки сигнала магнитометра с целью определения действительного момента образца. Рассмотрим задачу более подробно.

Приемная часть сверхпроводящего трансформатора магнитного потока (СТМП) СКВИД-магнитометра представляет собой две катушки на расстоянии 15 мм друг от друга, включенные по схеме градиентометра (рис. 1а). Процесс измерения момента образца заключается в перемещении образца через обе катушки СТМП. При этом получаем характерный сигнал магнитометра в зависимости от координаты образца  $z$  (рис. 1б). Если образец является точечным диполем, то амплитуда сигнала (рис. 1б) пропорциональна магнитному моменту образца [3]. Однако часто в реальных измерениях, особенно при исследовании образцов с малым магнитным моментом, получаемый сигнал магнитометра намного сложнее (рис. 2а). Он является суперпозицией сигналов от нескольких моментов. Распределение этих моментов по координате  $z$  можно получить, если знать сигнал магнитометра от точечного источника магнитного момента единичной амплитуды (точечного магнитного диполя).

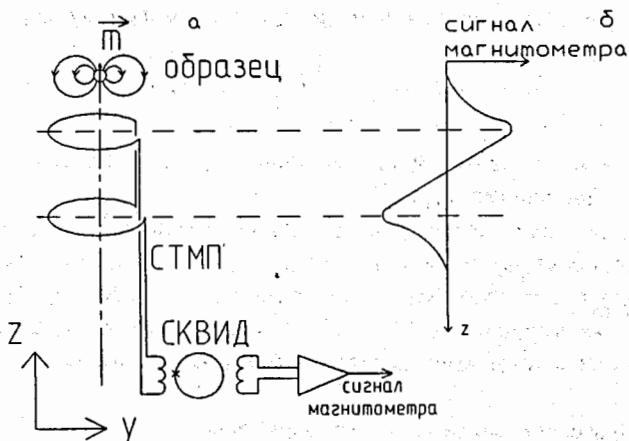
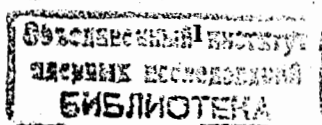
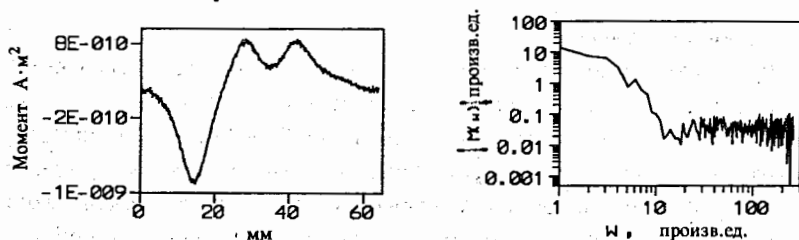


Рис.1. Принципиальная схема измерительной части СКВИД-магнитометра (а). Зависимость сигнала магнитометра от координаты образца (б).





а б

Рис.2. Пример реального сигнала, получаемого при измерении на СКВИД-магнитометре (а). Модуль фурье-образа этого сигнала (б)

Если  $m(z)$  - сигнал магнитометра от точечного магнитного момента единичной амплитуды и  $s(z)$  - распределение момента по координате  $z$ , сигнал магнитометра можно записать в виде свертки:

$$M(z) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\xi) \cdot m(z-\xi) d\xi \quad (1)$$

Для простоты это выражение будем записывать в виде  $M(z) = s(z) \otimes m(z)$ .

В нашем случае по известным  $m(z)$  и  $M(z)$  необходимо получить  $s(z)$ , т.е. решить обратную задачу уравнения свертки. Такая задача решается при помощи преобразования Фурье:

$$s(z) = F^{-1} \left[ \frac{M(\omega)}{m(\omega)} \right], \text{ где} \quad (2)$$

$M(\omega)$  и  $m(\omega)$  - фурье-образы функций  $M(z)$  и  $m(z)$ , а  $F^{-1}$  - обратное преобразование Фурье.

Однако при обработке реальных экспериментальных данных из-за наличия шума решение уравнения (1) расходится и задача становится некорректной. Существуют различные способы преодоления этих трудностей [4, 5, 6]. В данной работе приведено решение данной задачи для сигнала СКВИД-магнитометра.

## 2. Особенности сигнала и его обработка

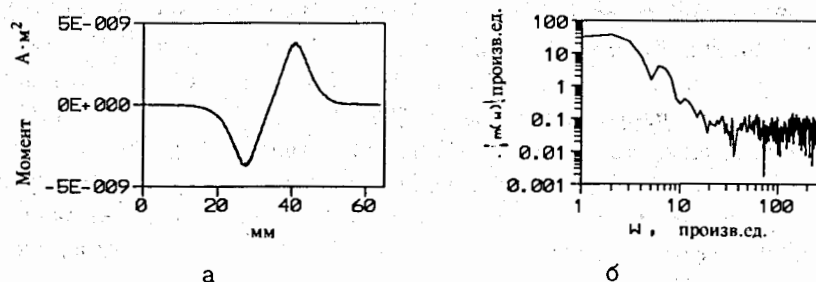
1. Сигнал (рис.1б, 2а) измеряется при перемещении образца шаговым двигателем со скоростью 300 шагов в секунду, что соответствует линейной скорости 0.75 мм/с. Образец проходит расстояние примерно 65 мм ( между петлями СТМП - 15 мм ). Сигнал

магнитометра считается с частотой 6 Гц, при этом набирается массив из 600 чисел. Чтобы удовлетворить теореме о дискретной выборке, сигнал магнитометра проходит аналоговую фильтрацию на частоте 3 Гц, что соответствует пространственной частоте  $4 \text{ мм}^{-1}$  ( дискрета частоты будет  $4/256 = 1/64 \text{ мм}^{-1}$  ). Т.к. наш сигнал представлен дискретным набором чисел, то необходимо использовать не интегральные уравнения (1) и (2), а их дискретные аналоги, с обоснованием которых можно ознакомиться в работе [4].

2. Все рассуждения, приведенные в предыдущей части, действительно для источника сигнала, находящегося точно на оси  $z$  (рис.1а). Реальный образец имеет конечный объем и в условиях эксперимента может сместиться по оси  $y$ . Как показывают расчеты, это дает изменение сигнала не более чем на 3% для нашей установки ( см. приложение). В пределах этой точности мы можем пользоваться идеализированным представлением об источнике сигнала ( считать, что он распределен только по координате  $z$  ).

3. Зависимость  $m(z)$  была определена при помощи катушки с током ( диаметр катушки 0.5 мм, высота 0.5 мм ). Катушка состояла из десяти витков медного провода  $\varnothing 20 \text{ мкм}$ . Магнитный момент катушки составлял  $7.53 \cdot 10^{-9} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ . Измерения проводились в нулевом магнитном поле, что соответствовало получению максимального соотношения сигнал/шум. Сигнал от катушки представлен на рисунке 3а.

Этот сигнал может считаться сигналом от точечного источника, поскольку разрешение по координате ограничивается шумом. В нашем "наилучшем" сигнале (рис.3б) белый шум начинается с 25-й гармоники. В сигнале, получаемом обычно в эксперименте, уровень белого шума еще выше. Анализировать экспериментальные



а б

Рис.3. Сигнал магнитометра для измерительной катушки с током.(а). Модуль фурье-образа этого сигнала (б)

результаты на частотах выше 25-й гармоники не имеет смысла, и это дает предельное разрешение получаемого момента  $s(z)$  по координате  $z$ . Если предельная значащая гармоника 25-я, что соответствует пространственной частоте  $25/64 \text{ мм}^{-1} \approx 0.4 \text{ мм}^{-1}$ , то разрешение по  $z$  будет не лучше 2.5 мм. Размер измерительной катушки 0.5 мм существенно меньше, чем предельное разрешение по координате, значит, ее можно считать точечным источником.

4. При решении уравнения (1) с использованием формулы (2) в реальных условиях возникает трудности из-за неустойчивости  $s(z)$ . Ее причину легко понять [5]. Т.к.  $m(\omega)$  уменьшается с увеличением  $\omega$ , а  $M(\omega)$  на высоких частотах имеет постоянную амплитуду на уровне белого шума,  $s(\omega)$  будет резко возрастать на высоких частотах. В результате в  $s(z)$  весь сигнал будет закрыт высокочастотным шумом. Для устранения подобной неустойчивости мы пользовались двумя способами.

Первый наиболее очевиден и заключается в том, что спектр  $s(\omega)$  обрезается на частоте, при которой белый шум становится выше сигнала образца. Например, для сигнала на рисунке 3б это 25-я гармоника, на рисунке 26 - 10-я. Таким образом, при решении задачи восстановления сигнала  $M(z)$  (рис. 2а) по сигналу  $m(z)$  (рис. 3б) необходимо обрезать спектр сигналов на 10-й гармонике, т.е.

$$s(\omega) = \frac{M(\omega)}{m(\omega)} \cdot f(\omega), \text{ где } f(\omega) = \begin{cases} 1, & \omega \leq \omega_0 \\ 0, & \omega > \omega_0 \end{cases}, \omega_0 = 10 \cdot \omega_{\min}$$

( $\omega_{\min}$  - дискрета пространственной частоты).

Полученный по такой методике сигнал  $s(z)$  показан на рисунке 6а. Видно, что источником сигнала на рисунке 2а являлись два локальных момента различной амплитуды.

Несмотря на свою простоту, такое обрезание спектра вносит существенные искажения в сигнал  $s(\omega)$ . Пусть  $s_0(\omega) = \frac{M(\omega)}{m(\omega)}$ , тогда  $s(z) = s_0(z) \otimes f(z)$ , где  $f(z)$  - фурье-образ  $f(\omega)$ . Функции  $f(\omega)$  и  $f(z)$  представлены на рисунке 4а, б. Если  $s_0(z)$  - точечный источник, то после процедуры обрезания спектра мы получим  $s(z) = f(z)$ . По рисунку 4б можно судить о степени искажения  $s_0(z)$ . Можно несколько уменьшить искажения  $f(z)$ , вызванные длинным переходным процессом, и сделать ее более гладкой, несколько модифицировав  $f(\omega)$ .

Этот способ по существу равносильен обрезанию спектра, но он основан на приведенных в пункте 3 рассуждениях о том, что

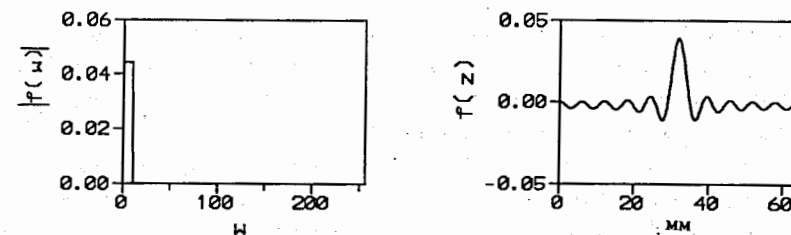


Рис.4. Амплитуда фурье-образа  $f(\omega)$  для процедуры обрезания спектра (а);  $f(z)$  для процедуры обрезания (б)

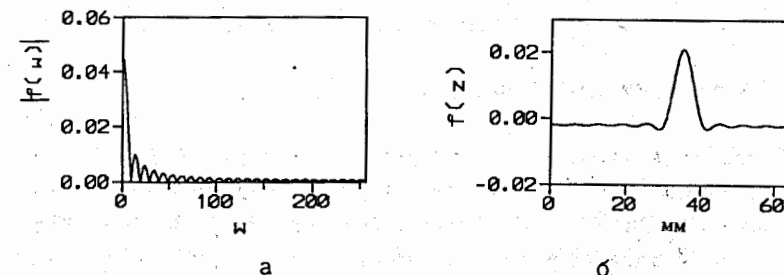


Рис.5. Амплитуда фурье-образа  $f(\omega)$  для процедуры сглаживания (а);  $f(z)$  для модифицированной процедуры сглаживания (б)

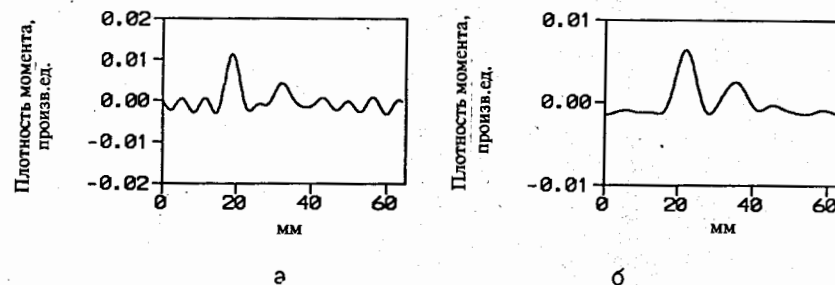


Рис.6. Распределение источника момента  $s(z)$  по  $z$ , полученное при помощи процедуры: (а) обрезания спектра; (б) сглаживания

уровень белого шума определяет разрешающую способность по координате  $z$ . Если белый шум сигнала начинается с  $n$ -й гармоники, то максимальное разрешение, которое можно достигнуть, равно  $1/(n \cdot \omega_{\min})$  [мм] или  $1/(n \cdot \omega_{\min} \cdot \Delta)$  [дискрет] ( $\Delta$  - дискрета

координаты). Значит, исходный сигнал  $M(z)$  можно сгладить по  $1/(n \cdot \omega_{\min} \cdot \Delta)$  точкам, что приведет к подавлению высокочастотной компоненты  $M(\omega)$ , как и в первом способе. Функция  $f(\omega)$  для такой процедуры представлена на рисунке 5а. В связи с тем, что выше  $\omega_0$  шум больше сигнала, эта часть спектра не информативна и можно принять  $f(\omega) = 0$  при  $\omega > \omega_0$ . Функция  $f(z)$  для такого сигнала представлена на рисунке 5б. Видно что такая процедура сглаживает  $s_0(z)$  и не вносит искажений от длинного переходного процесса. Результаты, полученные этим способом, приведены на рисунке 6б.

5. Чтобы определить величину локальных моментов образцов, приведенных на рисунке 5а, б, надо взять интеграл каждого пика по координате. Анализировать величину локальных моментов функции  $s(z)$  удобнее по функции  $S(z) = \int_0^z s(\xi) d\xi$ .

Рассмотрим, каким в принципе может быть сигнал  $s(z)$  от двух локальных источников. На рисунке 7а приведен пример распределения плотности магнитного момента по координате - моменты 1 и 2. В этом примере в сигнале присутствует "ступенька",

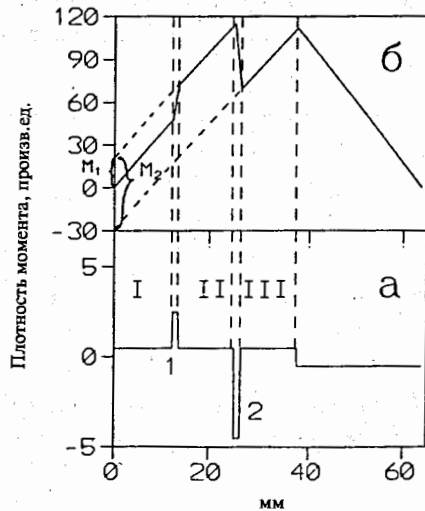


Рис.7. Пример возможного распределения источника момента  $s(z)$  по координате (а);  $S(z)$  для этого распределения (б).

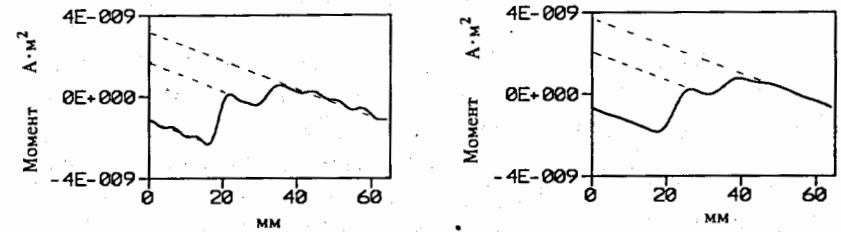


Рис.8. Зависимость  $S(z)$ , полученная при помощи процедуры: а) обрезания спектра, б) сглаживания

соответствующая полубесконечному держателю образца, на котором находятся моменты 1 и 2.  $S(z)$  такого сигнала представлено на рисунке 7б. Видно, что наклоны прямых на участках I, II, III должны совпадать, а искомые моменты  $M_1$  и  $M_2$  будут соответствовать отрезкам, отсекаемым этими прямыми на вертикальной оси. Именно так мы определяем величины моментов. Например, величины моментов для сигнала на рисунке 6а, б равны соответственно:  $2.62 \cdot 10^{-9} \text{ А} \cdot \text{м}^2$  и  $1.60 \cdot 10^{-9} \text{ А} \cdot \text{м}^2$  (см. рис. 8а, б).

6. Ошибкой определения момента является (рис. 7б) среднеквадратичное отклонение экспериментальных точек от прямых на участках I, II, III. Для первого метода ошибки составили:  $4 \cdot 10^{-11} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ , для второго:  $2 \cdot 10^{-11} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ .

Оценим предельную разрешающую способность магнитометра. Примерно 90% энергии сигнала  $m(\omega)$  содержится в его первых трех гармониках, что при наших измерениях соответствует полосе частот  $\approx 0.04$  Гц. Уровень шума магнитометра при таких частотах  $5 \cdot 10^{-12} \text{ А} \cdot \text{м}^2 / \sqrt{\text{Гц}}$ , т.е. предельное разрешение  $10^{-13} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ .

Определенную ошибку вносит дискретность АЦП. В нашем случае одна дискрета составляет  $5 \cdot 10^{-13} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ . Однако при усреднении (мы набираем массив из 600 точек) удастся понизить эту ошибку.

Реально же из-за шума, вызываемого вибрацией при движении образца, трудно получить разрешение лучше, чем  $10^{-12} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ .

### 3. Программная реализация

Для расшифровки сигнала СКВИД-магнитометра при исследовании образцов с малым магнитным моментом была разработана специальная программа LL\_MOM.exe, которая имеет отвечающий современным требованиям пользовательский интерфейс и позволяет быстро обработать данные измерений и получить распределение магнитного момента измеряемых образцов.

Пользователь выбирает на диске два предварительно созданные измерительной программой файла данных - отклик системы при перемещении "точечного" источника момента и отклик от исследуемого образца - и метод обработки. Программа проводит вычисление распределения магнитных моментов, оценивает ошибку вычисления, показывает результаты и спасает на диск либо само распределение, либо, по запросу пользователя, вычисленные магнитные моменты образца и других источников момента.

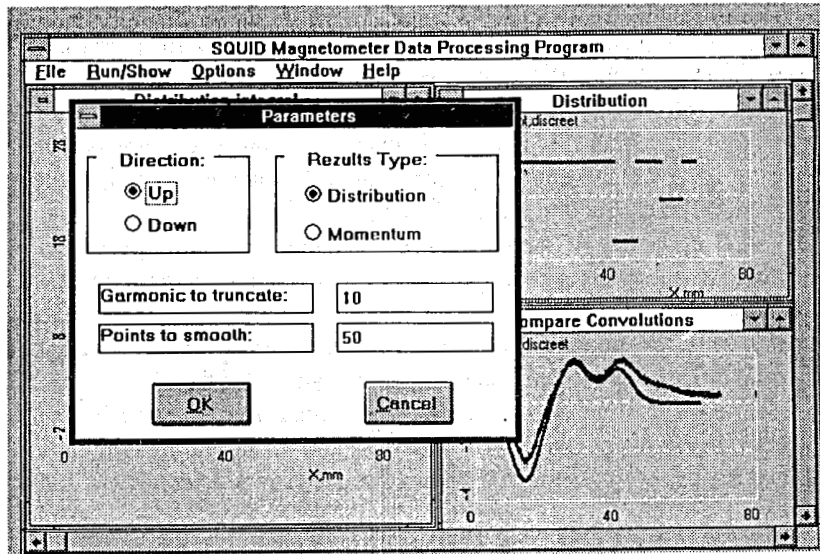


Рис.9. Окно диалога для задания параметров обработки, окна с графиками

Интерфейс программы LL\_MOM.exe выглядит следующим образом: при входе в программу высвечивается основное окно с заголовком "SQUID Magnetometer Data Processing Program" и полосой действий: "Files, Run/Show, Options, Windows, Help".

С помощью падающего меню "Options" пользователь может выбрать метод, числовые параметры обработки и маршруты по умолчанию для чтения/записи файлов.

При выборе метода обработки "Truncating" при получении решения уравнения свертки методом преобразований Фурье обрезаются все гармоники в спектре получаемого распределения, начиная с заданной через "Options", "Params", "Garmonic to truncate:", по умолчанию с 10-й гармоники (рис.9). Этот номер может быть изменен также при просмотре графика спектра образца ("Sample FFT") путем нажатия в нужном месте правой кнопки мыши.

При выборе метода "Smoothing" перед вычислением преобразования Фурье значения из файла данных образца сглаживаются усреднением по N ( по умолчанию 50-ти ) соседним точкам ( этот параметр задается через "Options", "Params", "Points to smooth:" и производится обрезание на 512/N-й гармонике.

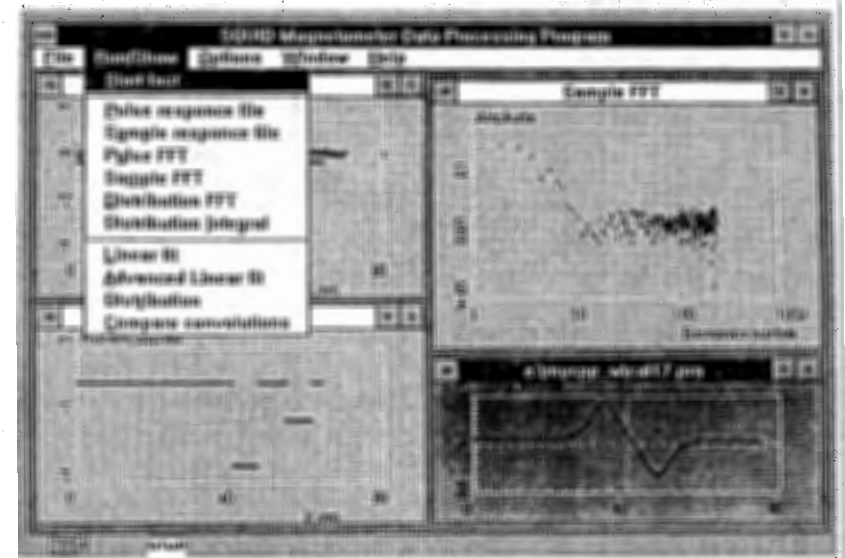


Рис.10. Меню для обработки и выбора графиков, окна с графиками

В случае выбора действия "Run/Show" (Alt-R или мышью) появляется падающее меню (рис.10). При выборе "Quick Start" программа высвечивает стандартные окна диалога для выбора двух входных файлов, затем вычисляет в соответствии с выбранным методом интеграл от распределения момента и показывает его пользователю в виде графического окна. Пользователь может прийти к этому этапу, последовательно нажимая пункты меню от "Pulse Response" до "Distribution Integral" и наблюдая, как выглядят исходные файлы, их распределения и т. д.

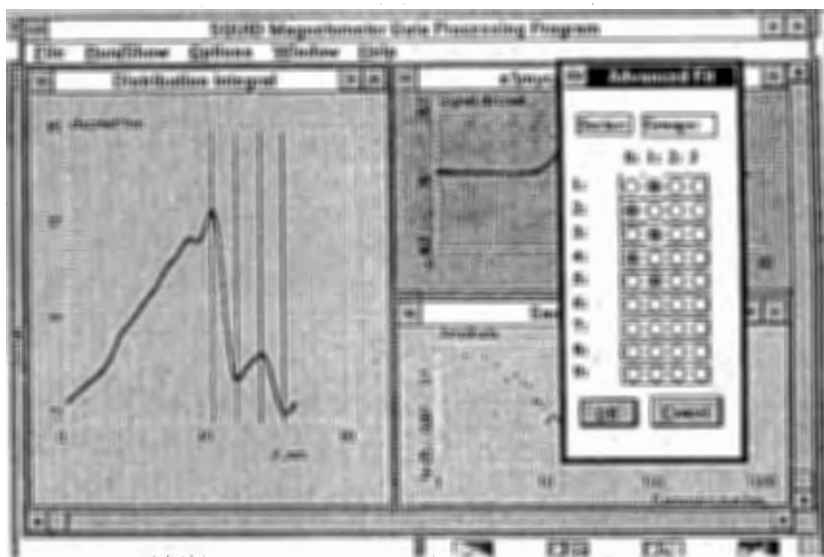


Рис.11. Диалог для задания групп с одинаковым наклоном

После высвечивания интеграла от распределения пользователь должен задать на графике с помощью правой кнопки мыши разбиение на участки для линейного фитирования (их может быть до 30). На каждом заданном участке будет проводиться прямая методом наименьших квадратов. Разбив на участки, пользователь нажимает "Linear Fit" (независимое фитирование) или "Advanced Linear Fit" (для указания участков с одинаковым наклоном). В случае "Advanced..." высвечивается окно диалога (рис.11), в котором пользователь для каждого номера участка задает номер

группы либо "0" (независимые наклоны; по умолчанию все участки имеют группу "0"), либо "1" (в некоторых случаях могут понадобиться несколько групп с одинаковым наклоном, для чего имеются группы "2" и "3"). Вычисленные прямые рисуются черным цветом.

Затем пользователь выбирает действие "Show Distribution" и наблюдает полученное распределение. Он также может выбрать "Compare Distributions" и сравнить на одном графике измеренные данные для одного образца и свертку вычисленного распределения с переходной функцией.

Каждое окно с графиками позволяет изменить его размеры и положение на экране.

При выборе "Files", "Save Results" высвечивается стандартный диалог выбора имени файла и после выбора происходит запись на диск либо распределения момента, либо моментов в соответствии с выбором в меню "Options", "Params".

Стандартное меню "Windows" позволяет показать на экране все открытые окна с графиками (их всего 8) одновременно ("Tile") или с перекрытиями ("Cascade"), а также закрыть все окна ("Close All")

Меню "Help" позволяет получить подсказку по пунктам меню действий ("Index") и информацию об авторе и версии программы ("About").

#### 4. Структура программы

Программа написана на языке Borland C++ и выполнена как приложение для графической среды Microsoft Windows 3.1 [8]. Этот выбор связан с тем, что многооконная оболочка предоставляет максимальное количество возможностей для обработки данных, и, кроме того, использование программных средств Borland C++ & Application Framework 3.1, имеющихся в наличии, в частности библиотеки объектов ObjectWindows [10], позволяет не только быстро и удобно создавать объектно-ориентированные приложения Microsoft Windows, но и обеспечивать при этом требования Common User Access (CUA) к интерфейсам пользовательских программ, которые стали общепризнанным стандартом для разработчиков программного обеспечения [7, 8].

Структура оконных классов для LL\_MOM.exe показана на рисунке 12. Оконные классы, написанные автором программы,



являются дочерними для библиотечных классов TWindow, TMDIFrame и TDialog. На рисунке 12 они заштрихованы.

Классы TmgWindow и TlgWindow - оконные классы для графиков функций в линейных и логарифмических осях. Они могут являться базовыми для написания других программ обработки данных. При вызове конструкторов этих классов достаточно задать максимальные и минимальные значения для данных по X и Y, заголовок окна и цвета.

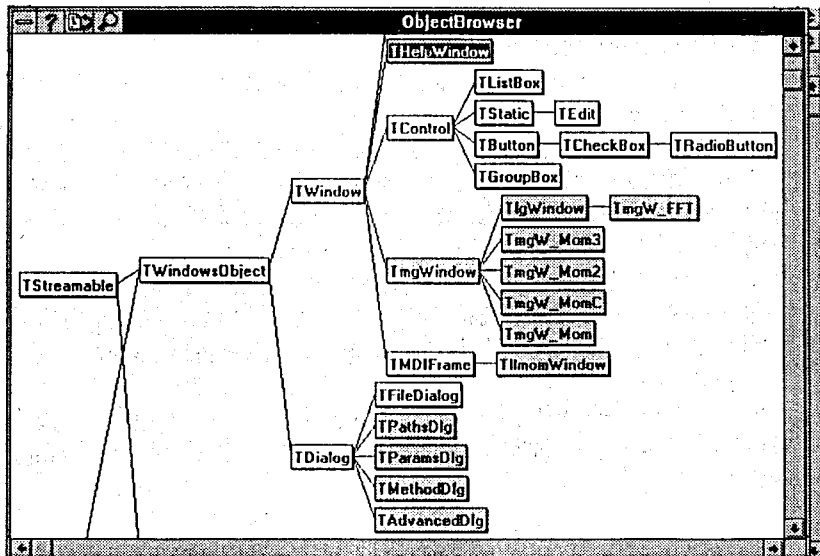


Рис.12. Часть структуры объектных классов программы

Класс TmgW\_mom - оконный класс для представления числовых данных, считанных из текстовых файлов с возможностью смены направления по оси "x". При вызове конструктора добавляется имя файла данных. Пример экземпляра такого класса дан на рис.10 в правом нижнем углу.

Класс TlgW\_FFT предназначается для представления амплитуд преобразований Фурье, которые вычисляются как преобразования 512-точечного комплексного массива данных по стандартным формулам быстрого преобразования Фурье [9]. Пример - на рис.10 в правом верхнем углу.

Классы TmgW\_mom и TlgW\_FFT также могут являться базовыми для дальнейших разработок программ.

Остальные разработанные классы отражают специфику данной задачи. Класс TmgW\_mom2 служит для представления и работы с интегралом распределения (рис.11, слева); TmgW\_momC - для графика распределения момента (рис.10, слева внизу); TmgW\_Mom3 - для вывода на один график функции отклика образца и свертки полученного распределения с переходной функцией (рис.9, справа внизу); THelpWindow - для высвечивания Help-информации.

Каждое окно с графиком имеет свой цвет фона, заданный в момент вызова конструктора данного окна, и заголовок, связанный с именем файла данных или смыслом представляемой картинки.

Классы TPathsDlg, TParamsDlg, TMethodDlg и TAdvancedDlg написаны для представления диалогов для выбора директорий по умолчанию, числовых параметров, метода обработки и задания групп с одинаковым наклоном соответственно. Класс TllmomWindow описывает основное окно программы и взаимодействие экземпляров дочерних оконных классов. Не показанный на рисунке 12 класс Tllmom\_Int является интерфейсным классом для данного приложения и дочерним для стандартного класса TApplication.

Меню и диалоги программы описаны в файлах описания ресурсов LL\_MOM.rc и LL\_MOM.dlg и откомпилированы с помощью компилятора ресурсов WorkShop.

Программа написана в Large модели памяти и требует для своей работы наличия 1 Мбайт extended memory на компьютере класса не ниже AT/286. На диске она занимает 91 Кб и использует динамические библиотеки BC1RTL.DLL и др.

Программа является примером создания объектно-ориентированного программного обеспечения на основе библиотеки объектов ObjectWindows фирмы Borland и позволяет сделать вывод о привлекательности такого подхода при создании программ обработки данных.

## 6. Заключение

Программа расшифровки сигнала магнитометра расширяет возможности СКВИД-магнитометра при исследовании образцов с малыми магнитными моментами и позволяет получать более надежные данные вблизи предела разрешения установки. Кроме того, появляется возможность проводить измерение сразу двух образцов, один из которых исследуемый образец, а второй - калиброванный образец для более точного измерения поля в рабочей зоне.

Авторы благодарны Ш. С. Зейналову за ценные замечания.

### Приложение

Поток магнитного поля, создаваемый точечным магнитным диполем, через приемную катушку диаметром  $2 \cdot R_0$  (рис. 13) составляет:

$$\Phi = \int_{R_0}^{\infty} 2\pi R \cdot \frac{m}{R^3} dR = \frac{2\pi m}{R_0}$$

где  $m$  - величина дипольного момента диполя.

Если диполь сместится из центра катушки на расстояние  $\Delta$  по оси  $y$ , то магнитный поток изменится на  $\Delta\Phi$  (рис. 14)

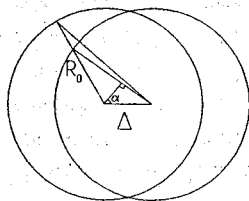
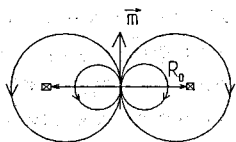


Рис. 13. Схематическое изображение магнитного диполя в приемной петле магнитометра

Рис. 14. Геометрическое пояснение к формуле (3)

$$\Delta\Phi = \int_0^{\pi} R_0 \Delta \cdot \sin\alpha \cdot \left[ \frac{\partial H}{\partial R} \right]_{R_0} \cdot \Delta \cdot \sin\alpha d\alpha = - \frac{3m\Delta^2}{R_0} \cdot \frac{\pi}{2} \quad (3)$$

В геометрии установки  $R_0 = 6$  мм, радиус канала для образца  $\Delta_{\max} = 2$  мм, поэтому ошибка измерений из-за отклонения образца от оси составляет:

$$\left[ \frac{\Delta\Phi}{\Phi} \right]_{\max}^{\Delta=2\text{мм}} = \frac{3}{4} \cdot \left[ \frac{\Delta}{R_0} \right]^2 \approx 0,08$$

$$\left[ \frac{\Delta\Phi}{\Phi} \right]_{\Delta=1\text{мм}} \approx 0,02$$

Т.к. образец имеет реальные размеры примерно 1 мм, можно считать, что в худшем случае мы получаем ошибку не более 3%.

### Литература

1. Ю. В. Обухов, Б. И. Савельев. — Препринт ИАЭ-5393/10. М., 1991.
  2. Ю. В. Обухов, Б. И. Савельев, В. В. Ханин. — ПТЭ, N5, 1991, стр. 166.
  3. Авдеев Л. З. Оптимизация и автоматизация исследования магнитных свойств веществ с помощью сверхпроводящего квантового магнитометра. Кандидатская диссертация. — МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, 1988.
  4. А. Н. Тихонов и др. — Численные методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1990.
  5. В. Ф. Турчин, В. П. Козлов, М. С. Малкевич. — УФН, т. 102, вып. 3, (1970).
  6. А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. — Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1974.
  7. Проектирование пользовательского интерфейса на персональных компьютерах. Стандарт фирмы IBM Под ред. М. Дадашова. DBS LTD, 1992.
  8. С. А. Гладков, Г. В. Фролов. — Программирование в Microsoft Windows, ч. 1, 2. — М.: Диалог-МИФИ, 1992.
  9. И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. — Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. М.: Наука, 1980.
  10. ObjectWindows For C++. User's Guide, Borland International, Inc., 1991.
- ObjectWindows для C++, в 2-х томах, "Диалектика", Киев, 1993.

Рукопись поступила в издательский отдел  
16 февраля 1994 года.