

и гистерезис ферромагнитных материалов также мешают отделить геомагнитное поле и выявить с приемлемой точностью магнитные поля, возникающие от работающей аппаратуры (приборная составляющая измененного магнитного поля).

Как показал анализ приборной составляющей магнитного поля, значительное изменение поля за время полета наблюдается редко. Наиболее заметное повышение уровня магнитного поля произошло по оси  $Y_c$  14.09.99 (с 19 часов 21 минуты до 23 часов 3 минуты МДВ).

Скачок поля по оси  $X_c$  начался в 19 часов 25 минут и закончился в 23 часа 4 минуты. В это же время видны небольшие изменения постоянной составляющей поля по оси  $Z_c$  в точках 2, 3 и 4. После 23 часов 4 минут изменилась постоянная составляющая полей во всех точках измерения магнитного поля.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДИМОСТИ МЕТОДОВ АППРОКСИМАЦИИ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ МОДЕЛЯМИ

Кудрина М.А., Кудрин К.А.

При аппроксимации корреляционных функций (КФ) функциями заданного вида методом Ньютона было замечено, что для того, чтобы алгоритм сошелся, (то есть, были найдены приемлемые значения искомым параметров) необходимо задать начальные приближения, близкие к истинным. С целью исследования областей сходимости метода Ньютона была взята экспоненциально-косинусная модель КФ

$\rho_a(\tau, \alpha, \omega_0) = e^{-\alpha|\tau|} \cos \omega_0 \tau$  с различными параметрами  $\omega_0 = [2, 5, 10]$  и  $\alpha=1$ . Для решения задачи аппроксимации КФ данной моделью следует решать следующую систему нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial \left( \sum_{i=0}^N \left[ \rho_x(\tau_i) - \rho_a(\tau_i, \alpha, \omega_0) \right]^2 \right)}{\partial \alpha} = 0; \\ \frac{\partial \left( \sum_{i=0}^N \left[ \rho_x(\tau_i) - \rho_a(\tau_i, \alpha, \omega_0) \right]^2 \right)}{\partial \omega_0} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Итерационная система уравнений при решении данной задачи методом Ньютона с численным (конечно-разностным) взятием производных имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{n+1} = \alpha_n - \frac{\sum_{i=0}^N R_i \frac{\partial R_i}{\partial \alpha}}{\sum_{i=0}^N \left( R_i \frac{\partial^2 R_i}{\partial \alpha^2} + \left( \frac{\partial R_i}{\partial \alpha} \right)^2 \right)}; \\ \omega_{n+1} = \omega_n - \frac{\sum_{i=0}^N R_i \frac{\partial R_i}{\partial \omega_0}}{\sum_{i=0}^N \left( R_i \frac{\partial^2 R_i}{\partial \omega_0^2} + \left( \frac{\partial R_i}{\partial \omega_0} \right)^2 \right)} \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $R_i = \rho_x(\tau_i) - e^{-\alpha_n \tau_i} \cos \omega_n \tau_i$

Для вычисления первой и второй частных производных были использованы следующие конечно-разностные формулы:

$$\begin{aligned} \frac{\partial R_i}{\partial \alpha} &\approx \frac{\cos \omega_n \tau_i (e^{-(\alpha_n+h)\tau_i} - e^{-\alpha_n \tau_i})}{h}; \\ \frac{\partial^2 R_i}{\partial \alpha^2} &\approx \frac{\cos \omega_n \tau_i (e^{-(\alpha_n+h)\tau_i} - 2e^{-\alpha_n \tau_i} + e^{-(\alpha_n-h)\tau_i})}{h^2}; \\ \frac{\partial R_i}{\partial \omega_0} &\approx \frac{e^{-\alpha_n \tau_i} (\cos((\omega_n+k)\tau_i) - \cos \omega_n \tau_i)}{k}; \\ \frac{\partial^2 R_i}{\partial \omega_0^2} &\approx \frac{e^{-\alpha_n \tau_i} (\cos((\omega_n+k)\tau_i) - 2\cos \omega_n \tau_i + \cos((\omega_n-k)\tau_i))}{k^2}; \end{aligned} \quad (3)$$

$h$  – любое достаточно малое приращение по  $\alpha$ ,  $k$  – любое достаточно малое приращение по  $\omega_0$ .

Итерационная система уравнений при решении задачи аппроксимации КФ методом Ньютона с аналитическим взятием производных имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{n+1} = \alpha_n - \frac{\sum_{i=0}^N R_i \tau_i e^{-\alpha_n \tau_i} \cos \omega_n \tau_i}{\sum_{i=0}^N \tau_i^2 e^{-\alpha_n \tau_i} \cos \omega_n \tau_i \left[ e^{-\alpha_n \tau_i} \cos \omega_n \tau_i - R_i \right]} \\ \omega_{n+1} = \omega_n - \frac{\sum_{i=0}^N \left[ -R_i \tau_i e^{-\alpha_n \tau_i} \sin \omega_n \tau_i \right]}{\sum_{i=0}^N \tau_i^2 e^{-\alpha_n \tau_i} \left[ e^{-\alpha_n \tau_i} \sin^2 \omega_n \tau_i - R_i \cos \omega_n \tau_i \right]} \end{array} \right. \quad (4)$$

где  $R_i = \rho_x(\tau_i) - e^{-\alpha_n \tau_i} \cos \omega_n \tau_i$ .

Приведенная итерационная схема была реализована в виде отдельного базового модуля ExpCos() имеющего следующую спецификацию:

Входные параметры:

$\alpha_0, \omega_0$  — определяют точку начального приближения для запуска итерационного процесса;

$\varepsilon$  — погрешность метода, определяющая условие окончания итераций.

Выходные параметры:

$\alpha, \omega$  — точка, являющаяся решением системы нелинейных уравнений;  
 err — логическая переменная, принимающая значение 1, если не удалось получить решения (метод расходится, или сходится очень медленно, или произошло закичивание метода) и 0 — если решение получено.

Для входных параметров  $\alpha_0$  и  $\omega_0$  значения разыгрывались псевдослучайным образом с использованием ЛПТ-последовательностей.

Значение погрешности метода  $\varepsilon = 10^{-3}$ . Окончание итерационного процесса определялось следующим условием:

$$\left\{ \begin{array}{l} |\omega_{n+1} - \omega_n| \leq \varepsilon; \\ |\alpha_{n+1} - \alpha_n| \leq \varepsilon. \end{array} \right. \quad (5)$$

На рисунках 1, 3, 5 приведены фрагменты области сходимости метода Ньютона с численным (конечно-разностным) и аналитическим взятием производных при аппроксимации Затененные участки показывают фрагменты области сходимости метода. Не закрашенные участки обозначают области, в которых не удалось получить решение системы уравнений предложенным методом.

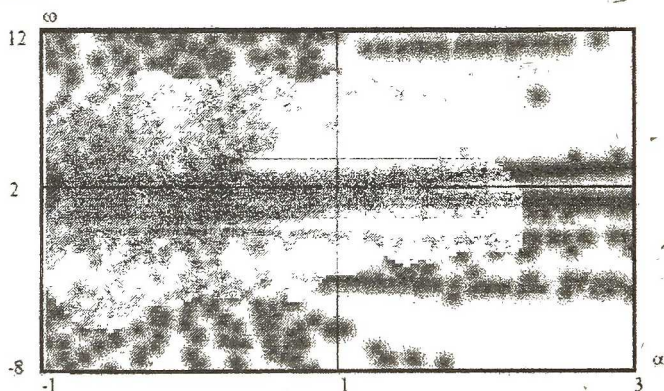
Из данных рисунков видно, что сходимость метода Ньютона с конечно-разностным взятием производных лучше, чем с аналитическим взятием производных. Точки, из которых алгоритм сходится, сгруппированы

около истинного решения. Причем сходимость более чувствительна к значению параметра  $\omega_0$ , нежели к  $\alpha$ . То есть при подборе начальных приближений большее внимание нужно уделять выбору  $\omega_0$ .

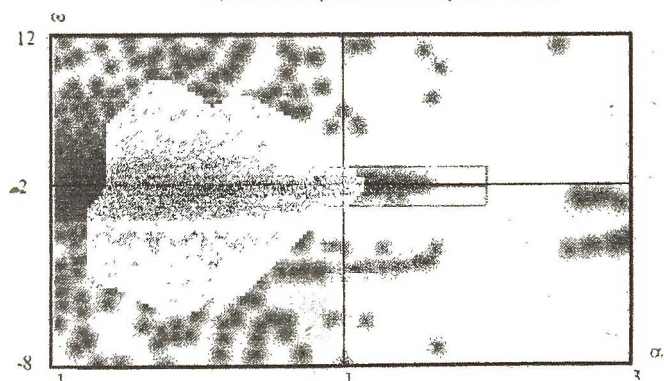
Ввиду плохой сходимости метода Ньютона, для аппроксимации КФ функциями заданного вида был также использован метод деформированного многогранника, область сходимости которого более широка (рисунки 2, 4, 6). Однако в некоторых случаях метод Ньютона дает меньшую погрешность аппроксимации. В данной ситуации можно предложить следующий способ получения наилучшего результата:

- аппроксимировать КФ, используя метод деформированного многогранника, при любых начальных приближениях;
- затем аппроксимировать КФ методом Ньютона, используя в качестве начальных приближений результаты предыдущей аппроксимации.

При таком подходе нет строгих требований к подбору начальных приближений, и одновременно достигается наименьшая погрешность аппроксимации.



а) конечно-разностные производные



б) аналитические производные

Рисунок 1 – Сходимость метода Ньютона при аппроксимации экспоненциально-косинусной модели с параметрами  $\alpha=1$ ,  $\omega_0=2$



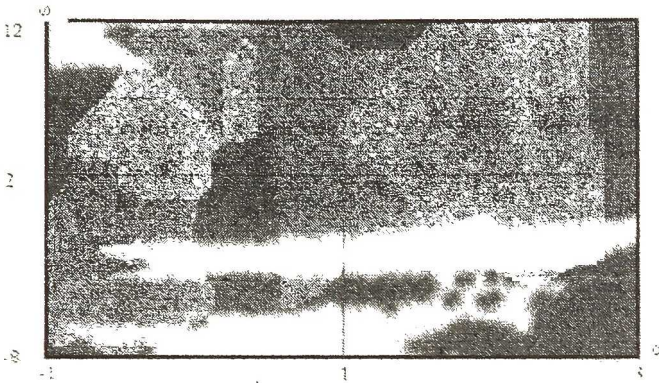


Рисунок 2 - Сходимость метода деформированного многогранника при аппроксимации экспоненциально-косинусной модели с параметрами  $\alpha=1$ ,  $\omega_0=2$

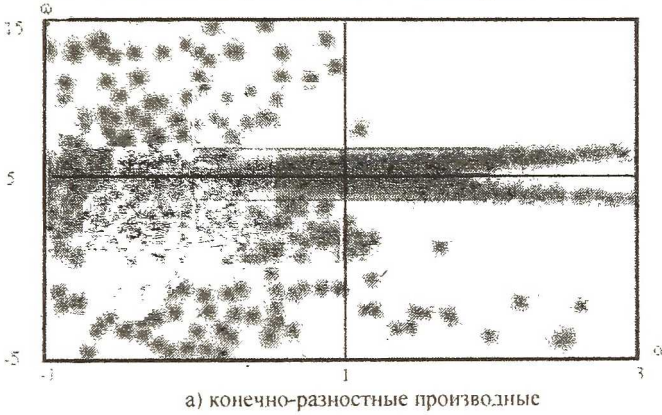


Рисунок 3 – Сходимость метода Ньютона при аппроксимации экспоненциально-косинусной модели с параметрами  $\alpha=1$ ,  $\omega_0=5$

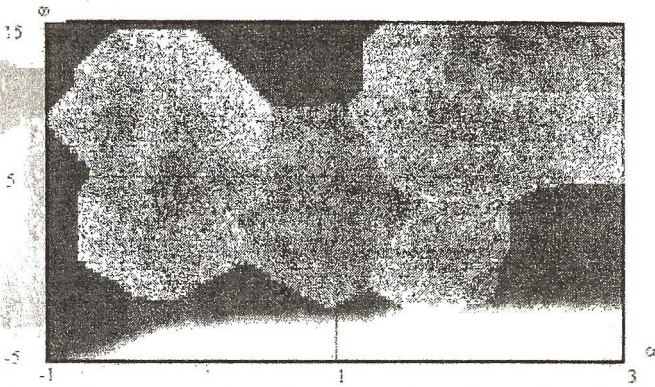
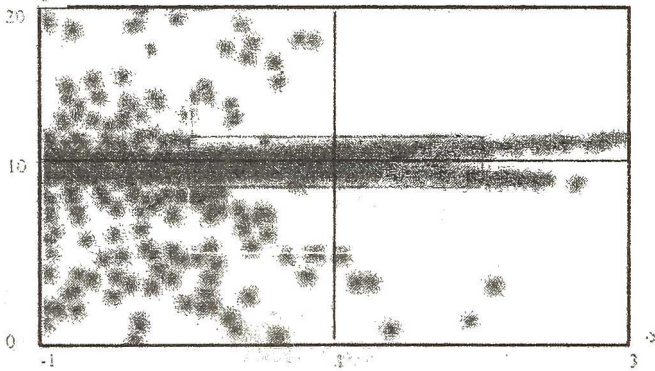
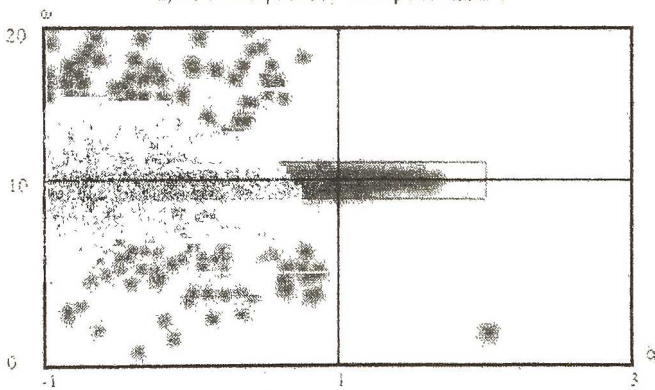


Рисунок 4 - Сходимость метода деформированного многогранника при аппроксимации экспоненциально-косинусной модели с параметрами  $\alpha=1$ ,  $\omega_0=5$ .



а) конечно-разностные производные



б) аналитические производные

Рисунок 5 – Сходимость метода Ньютона при аппроксимации экспоненциально-косинусной модели с параметрами  $\alpha=1$ ,  $\omega_0=10$ .

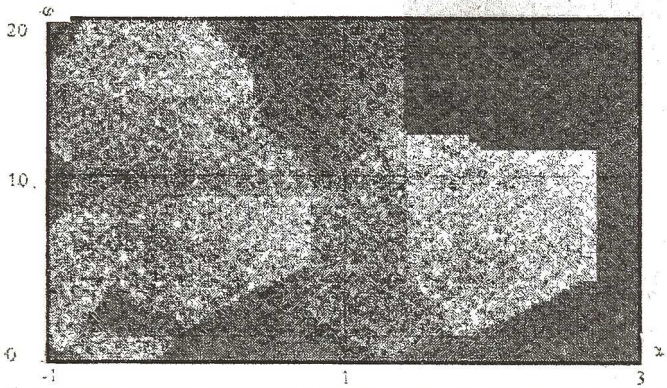


Рисунок 6 - Сходимость метода деформированного многогранника при аппроксимации экспоненциально-косинусной модели с параметрами  $\alpha=1$ ,  $\omega_0=10$

## ЗАТРАТНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Капустин А.А., Капустин А.С.

Систематический подход к проектированию цифровых измерительных преобразователей (ЦИП) включает анализ качества возможных вариантов построения ЦИП.

При наличии обобщенной структурной схемы ЦИП необходимо определить частные показатели эффективности и уметь их вычислить по данной схеме. Для этого необходимо правильно выбрать критерий оптимизации для данного способа преобразования.

Представляется целесообразным выполнять оптимизацию параметров ЦИП по ряду частных критериев, например, минимуму затрат на производство ЦИП.

Основная цель структурного анализа сводится к оценке характеристик ЦИП до его разработки, что обеспечивает экономию аппаратурных затрат и ускоряет сроки проектирования ЦИП.

Анализ ведется с учетом следующих ограничений: необходимо, чтобы функциональные узлы сравниваемых модификаций ЦИП были выполнены на единой элементной базе одного класса точности, быстродействия и единой технологической основе. Примем для всех рассматриваемых модификаций ЦИП двоичную форму представления выходного кода и параметры входной аналоговой величины в виде угла поворота входного вала ЦИП при полном его обороте, т.е.  $0 - 360^\circ$ .

Общее число разрядов выходного кода ЦИП  $q_2$  определяется суммой разрядов в грубом отсчете (ГО) и точном отсчете (ТО), т.е.

$$q_2 = q_1 + q_2.$$