

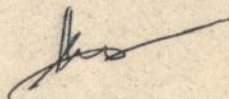
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

На правах рукописи

АПОСЯН ТИГРАН ФЕРДИНАНДОВИЧ

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ ВО ВРЕМЯ - ЧАСТОТНОЙ
ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ СПЛАЙН ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Специальность 05.13.02 - "математическое моделирование
в научных исследованиях "



А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Киев - 1995



00344249 (Q)

04:51
Диссертацией является рукопись
Работа выполнена в Институте проблем моделирования в энергетике Национальной Академии Наук

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Береговенко Г. Я.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Хорошко В. А.
кандидат технических наук
Семагина Э. П.

Ведущая организация: Институт кибернетики НАН Украины

Защита состоится "22" июня 1995 г. в 14 час. на
заседании специализированного совета Д 01.91.01 в Институте
проблем моделирования в энергетике НАН Украины (252680, Киев -
164, ул. Генерала Наумова , 15)

О диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института проблем
моделирования в энергетике НАН Украины

Автореферат разослан "22" июня 1995 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета,
кандидат технических наук

Семагина

Семагина Э. П.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Актуальность темы. С развитием вычислительной техники всё более серьёзные требования предъявляются к методам цифровой обработки сигналов (ЦОС), которые являются мощным инструментом компьютерного анализа сигналов и динамических систем.

Однако традиционные методы ЦОС имеют ряд недостатков, обусловленных следующими причинами:

- отсутствуют соотношения, позволяющие с общих позиций описывать непрерывные и дискретные сигналы;
- для анализа периодических и непериодических сигналов используются две не связанные формы, основанные на ряде или интеграле Фурье.

При этом несмотря на теоретические разработки по решению отдельных задач в области время - частотного анализа, до настоящего времени отсутствуют универсальные прикладные пакеты программ, позволяющие с единых время - частотных позиций анализировать различные по своему характеру сигналы: дискретные, непрерывные, периодические и непериодические.

Кроме того, вычисление локальных интегралов требует специальных методов, позволяющих учитывать свойства реальных сигналов. Особенности этих методов обуславливаются видом принятой аппроксимации подинтегральных функций.

Таким образом, актуальной является следующая постановка задачи.

Цель работы: На основе единого время - частотного подхода разработать математическое описание сигналов, моделирующих процессы в системах различной физической природы.

Задачи исследования:

- разработать математические модели сигналов для время - частотного анализа, позволяющие исследовать непрерывные, дискретные, периодические и непериодические процессы.
- разработать методику эффективного определения спектральной характеристики объектов различной физической природы, учитывающую особенность моделей для время - частотного анализа.
- построить алгоритмы вычислительных процедур моделирования

сигналов во время - частотной области и исследовать их характеристики сходимости и точности .

- реализовать предложенные алгоритмы в пакете прикладных программ, обеспечивающем широкие возможности компьютерного моделирования задач время - частотного анализа .

Методы исследования . Решение поставленных в работе задач основано на методах спектрального анализа, теории систем и сигналов, теории аппроксимации, а также методах приближённого вычисления интеграла Фурье

Научная новизна работы :

Предложен метод локальной сплайн - интерполяции, учитывающий особенности функций, характеризующих дискретные и непрерывные сигналы при время - частотном анализе .

Разработаны алгоритмы вычисления интеграла Фурье с использованием локальной сплайн - интерполяции при определении мгновенных, текущих и установившихся спектров .

Указанные алгоритмы позволяют осуществлять прямое и обратное преобразование, а также вычислять коэффициенты ряда Фурье в случае периодических функций .

Предложен способ синтеза цифровых фильтров, позволяющих обеспечить заданные характеристики во время - частотной области .

Апробация работы . Основные результаты выполненных в диссертационной работе исследований получили положительную оценку на " Конференции молодых учёных " (Киев ИнКиБ. 1988), на восьмой республиканской научно - технической конференции " Бионика" (Кременчуг 1989) , на научно - технической конференции в ИГМЭ НАН Украины (Киев 1995).

Публикации . По основным результатам выполненных исследований опубликовано 6 научных работ .

Практическая ценность работы : Разработанные алгоритмы предназначены для время - частотного анализа при цифровой обработке сигналов. Эти алгоритмы реализованы в пакете прикладных программ, который использован при математическом моделировании динамических систем, решении ряда задач электро - и радиотехники, биологии, а также для фильтрации данных о вертикальной перегрузке при посадке самолёта

ТУ - 154 .

Результаты диссертации внедрены в учебный процесс КМУТА, а также использовались при обработке данных медико-биологических исследований в ИК НАН Украины.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава работы посвящена вопросам спектрального анализа и методам цифровой обработки сигналов.

Рассмотрены различные математические модели сигналов, воздействующих на аналоговые, цифровые и дискретные системы.

Сделан обзор основных методов и соотношений, предназначенных для цифровой обработки дискретных и непрерывных сигналов.

Обсуждаются различные подходы к реализации время - частотного анализа, взаимосвязь между временным и частотным описанием сигналов и предельные переходы от время - частотного описания к временному и частотному.

Показано, что допущения которые применяются при использовании дискретного преобразования Фурье (ДФФ) не всегда достаточно обоснованы и в этом случае ДФФ представляет собой приближенный метод вычисления коэффициентов ряда Фурье при аппроксимации подинтегральной функции полиномом нулевого порядка. Это порождает низкую точность вычислений, связанную с необходимостью учитывать достаточное число равноотстоящих отсчетов и приводит к большим затратам машинного времени. Обсуждаются основные методы приближенного вычисления интеграла Фурье. Приведены некоторые оптимальные по точности алгоритмы вычисления интеграла Фурье.

Показано, что из-за отсутствия единого время - частотного подхода к описанию систем и сигналов многие методы, применяемые в цифровой обработке, являются чисто формальными.

Ставится задача разработки методов анализа сигналов во время - частотной области и реализации их в виде прикладного пакета программ.

Во второй главе рассматривается взаимосвязь различных критериев приближения функции во временной области в связи с точностью вычисления её интеграла Фурье .

$$\inf_{f^* \in M} \sup_{f \in M} \left| \int_a^b \Delta f \cdot e^{-j\omega t} dt \right| , \quad (1)$$

$$\inf_{f^* \in M} \sup_{f \in M} \int_a^b |\Delta f| dt , \quad (2)$$

$$\inf_{f^* \in M} \sup_{f \in M, x \in [a, b]} \|\Delta f\| \quad (3)$$

Обоснована необходимость практического сравнения результатов вычисления интеграла Фурье различными методами , и осуществлён выбор тестирующих функций вида :

$$f_1(t) = A_1 \cdot \exp(-\alpha_1 t) ,$$

$$f_2(t) = B_0 + B_1 \cdot \exp(-\alpha_1 t) + B_2 \cdot \exp(-\beta_2 t) , \quad (4)$$

$$f_3(t) = (B_0 \cdot \sin(-\alpha_0 t) - B_1 \cdot \exp(-\alpha_1 t)) \cdot \sin(\omega t) .$$

Приведены сравнительные результаты вычисления интеграла Фурье от тестирующих функций при различных способах аппроксимации подынтегрального выражения . Так для ДПФ имеет место выражение

$$C_k = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \approx \frac{1}{T} \sum_{n=0}^{N-1} \int_{T_n}^{T_{n+1}} f(t_n) \cdot e^{-j\omega_0 T_n} dt$$

$$= \frac{1}{T} \sum_{n=0}^{N-1} f(t_n) \cdot e^{-j2\pi k n / N} , \quad C_k = B - J \cdot A$$

В предположении постоянства функции на локальных интервалах интегрирования, получено выражение

$$I(\omega) = \sum_{i=0}^{N-1} \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x) \cdot e^{-j\omega x} dx \approx \sum_{i=0}^{N-1} f(x_i) \int_{x_i}^{x_{i+1}} e^{-j\omega x} dx =$$

$$= \frac{1 - e^{-j\omega \Delta x}}{j\omega} \sum_{j=0}^{N-1} f(x_j) \cdot e^{-j\omega x_j}$$

При замене функции её средним значением на каждом из этих интервалов приближённое выражение интеграла Фурье имеет вид

$$I(\omega) = \frac{1 - e^{-j\omega \Delta x}}{j\omega} \sum_{j=0}^{N-1} f_{\text{ср}} \cdot e^{-j\omega x_j}$$

$$f_{\text{ср}} = \frac{f(x_i) + f(x_{i+1})}{2}$$

Кусочно-линейная интерполяция приводит к выражению

$$A_n = \int_0^{2\pi} f(x) \cdot \sin(nx) dx = \frac{f(0) - f(2\pi)}{n} \cdot \left(1 - \frac{\sin(n\Delta x)}{n\Delta x} \right) +$$

$$+ 2 \cdot \frac{1 - \cos(n\Delta x)}{n^2 \cdot \Delta x} \sum_{k=1}^{N-1} f_k \cdot \sin(nk\Delta x)$$

$$B_n = \int_0^{2\pi} f(x) \cdot \cos(nx) dx = (f(0) - f(2\pi)) \cdot \frac{1 - \cos(n\Delta x)}{n^2 \cdot \Delta x} +$$

$$+ 2 \cdot \frac{1 - \cos(n\Delta x)}{n^2 \cdot \Delta x} \sum_{k=1}^{N-1} f_k \cdot \cos(nk\Delta x), \quad \Delta x = \Delta t \cdot \omega = 2\pi/N.$$

Методы, используемые в цифровой обработке сигналов, не учитывают особенности анализируемых функций. В частности, не определяются участки, на которых функция имеет экстремумы и точки перегиба.

Предложен метод аппроксимации функций для время - частотного анализа сигналов с сохранением их экстремумов и точек перегиба. С этой целью, возможные комбинации четырех последовательных значений функции разбиваются на пять случаев. Функция, проходящая через точки, являющиеся границами среднего интервала, и удовлетворяющая определенным требованиям, принадлежит соответственно одному из классов F_1^* , F_2^* , F_3^* , F_4^* , F_5^* . Функция, соответствующая заданной дискретной последовательности, принадлежит классу F_6^* , если на каждом локальном отрезке она входит в один из пяти рассмотренных классов F_1^* , F_2^* , F_3^* , F_4^* , F_5^* .

Получены оценки погрешности вычисления интеграла Фурье от функций принадлежащих классам F_1^* - F_6^* .

На локальном участке интегрирования получено выражение следующей оценки погрешности.

$$\bar{e}(\Delta F_m, \omega) < \min \left\{ \frac{2\Delta F_m}{\omega} - \frac{2\Delta X \Delta G_{01} \Delta G_{12}}{\omega \Delta G_{02}}, \frac{\Delta F_m \Delta X}{2'} - \frac{\Delta X^2 \Delta G_{12} \Delta G_{01}}{2\Delta G_{02}} \right\}, \quad \Delta F_m = \max_{[X_j-1, X_j]} (\sup(f) - \inf(f))$$

Ошибка интегрирования функции, принадлежащей классу F_6^* вычисляется суммированием ошибок на локальных отрезках.

$$e(\omega) < \sum_{j=1}^N \bar{e}_j(\Delta F_{mj}, \omega)$$

Их значения определяются из приведенного выше выражения

На каждом локальном участке интегрирования строится сплайн, принадлежащий классу F_6^* и входящий в классы F_1^* - F_5^* .

Доказывается, что $\psi_1(x)$ удовлетворяет условиям налагаемым на функции из классов F_1^* , F_2^* , F_3^* .

$$\psi_1(x) = A \cdot \exp(\alpha \cdot (x-1)) + B \cdot x + C. \quad (5)$$

Условиям, налагаемым на функции классов F_4^* , F_5^* , удовлетворяет многочлен

$$\psi_4(x) = a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0. \quad (6)$$

Разработаны итерационные алгоритмы вычисления параметров функции $\psi_1(x)$ и решения уравнения, содержащего неизвестные коэффициенты локальных сплайнов $\psi_4(x)$.

Получены формулы для вычисления интеграла Фурье от неравномерных данных, а также для вычисления текущих и мгновенных спектров. При этом используется локальная сплайн-интерполяция выражениями (5) и (6).

Если интерполяция осуществляется выражением (3), то текущее преобразование Фурье определяется выражением

$$I(\omega) = \int_{\tau_{j-1}}^{\tau} (A_j e^{-\alpha_j t} + B_j t + C_j) \cdot e^{-j\omega t} dt =$$

$$= \left(\frac{A_j \cdot e^{-(\alpha_j + j\omega)t}}{-(\alpha_j + j\omega)} + \frac{B_j t \cdot e^{-j\omega t}}{-j\omega} - \frac{B_j \cdot e^{-j\omega t}}{-\omega^2} + \frac{C_j \cdot e^{-j\omega t}}{-j\omega} \right) \Bigg|_{\tau_{j-1}}^{\tau}$$

Для синусоидальной и косинусоидальной составляющих оно принимает вид

$$A_j^* = \sin(\omega t) \cdot \left(\frac{B_j}{\omega^2} - \frac{\alpha_j \cdot A_j \cdot e^{-\alpha_j t}}{\alpha_j^2 + \omega^2} \right) \Bigg|_{\tau_{j-1}}^{\tau}$$

$$- \cos(\omega t) \cdot \left(\frac{\omega \cdot A_j \cdot e^{-\alpha_j t}}{\alpha_j^2 + \omega^2} + \frac{B_j t + C_j}{\omega} \right) \Bigg|_{\tau_{j-1}}^{\tau}$$

$$B_j'' = \sin(\omega t) \cdot \left(\frac{\omega \cdot A_j \cdot e^{-\alpha_j t}}{\alpha_j^2 + \omega^2} + \frac{B_j t + C}{\omega} \right) \Big|_{\tau_{j-1}}^{\tau_j} +$$

$$+ \cos(\omega t) \cdot \left(\frac{B_j}{\omega^2} - \frac{\alpha_j \cdot A_j \cdot e^{-\alpha_j t}}{\alpha_j^2 + \omega^2} \right) \Big|_{\tau_{j-1}}^{\tau_j}$$

Этим выражениям придается следующая форма

$$A_j'' = \sin(\omega \cdot \tau_j) \cdot Q_j(\tau_j) - \sin(\omega \cdot \tau_{j-1}) \cdot Q_j(\tau_{j-1}) +$$

$$+ \cos(\omega \cdot \tau_j) \cdot P_j(\tau_j) - \cos(\omega \cdot \tau_{j-1}) \cdot P_j(\tau_{j-1})$$

$$B_j'' = \sin(\omega \cdot \tau_j) \cdot P_j(\tau_j) - \sin(\omega \cdot \tau_{j-1}) \cdot P_j(\tau_{j-1}) +$$

$$+ \cos(\omega \cdot \tau_j) \cdot Q_j(\tau_j) - \cos(\omega \cdot \tau_{j-1}) \cdot Q_j(\tau_{j-1}) ,$$

$$\text{где } Q_j(\tau_j) = \frac{B_j}{\omega^2} - \frac{\alpha_j \cdot A_j \cdot e^{-\alpha_j \tau_j}}{\alpha_j^2 + \omega^2} ,$$

$$P_j(\tau_j) = \frac{\omega \cdot A_j \cdot e^{-\alpha_j \tau_j}}{\alpha_j^2 + \omega^2} + \frac{B_j \cdot \tau_j + C}{\omega} .$$

В этом случае

$$A_j = \int_a^b f(t) \cdot \sin(\omega t) dt \approx \sum_{j=1}^N \int_{\tau_{j-1}}^{\tau_j} (A_j \cdot e^{-\alpha_j t} + B_j t + C_j) \cdot$$

$$\sin(\omega t) \cdot dt = \sum_{j=1}^N (\sin(\omega \tau_j) \cdot Q_j(\tau_j) - \sin(\omega \tau_{j-1}) \cdot Q_j(\tau_{j-1}))$$

$$+ \sum_{j=1}^N (\cos(\omega \tau_j) \cdot P_j(\tau_j) - \cos(\omega \tau_{j-1}) \cdot P_j(\tau_{j-1}))$$

$$B_j = \int_a^b f(t) \cdot \cos(\omega t) dt \approx \sum_{j=1}^N \int_{\tau_{j-1}}^{\tau_j} (A_j \cdot e^{-\alpha_j t} + B_j t + C_j) \cdot$$

$$\cos(\omega t) \cdot dt = \sum_{j=1}^N (\sin(\omega \tau_j) \cdot P_j(\tau_j) - \sin(\omega \tau_{j-1}) \cdot P_j(\tau_{j-1}))$$

$$+ \sum_{j=1}^N (\cos(\omega \tau_j) \cdot Q_j(\tau_j) - \cos(\omega \tau_{j-1}) \cdot Q_j(\tau_{j-1}))$$

При интерполяции дискретной последовательности выражением (4) текущее преобразование записывается в виде

$$I(\omega) = \int_{\tau_{j-1}}^{\tau} (a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0) \cdot e^{-j\omega t} dt =$$

$$= \left[\cos(\omega t) \cdot \left(\left(\frac{3t^2}{\omega^2} - \frac{6}{\omega^4} \right) \cdot a_3 + \frac{2ta_2}{\omega^2} + \frac{a_1}{\omega^2} \right) + \sin(\omega t) \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \left(\left(\frac{t^3}{\omega} - \frac{6t}{\omega^3} \right) \cdot a_3 + a_2 \cdot \left(\frac{t^2}{\omega} - \frac{2}{\omega^3} + \frac{ta_1}{\omega} + \frac{a_0}{\omega} \right) \right) \right] \Big|_{\tau_{j-1}}^{\tau}$$

$$- j \cdot \left[\sin(\omega t) \cdot \left(\left(\frac{3t^2}{\omega^2} - \frac{6}{\omega^4} \right) \cdot a_3 + \frac{2ta_2}{\omega^2} + \frac{a_1}{\omega^2} \right) - \cos(\omega t) \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \left(\left(\frac{t^3}{\omega} - \frac{6t}{\omega^3} \right) \cdot a_3 + a_2 \cdot \left(\frac{t^2}{\omega} - \frac{2}{\omega^3} + \frac{ta_1}{\omega} + \frac{a_0}{\omega} \right) \right) \right] \Big|_{\tau_{j-1}}^{\tau}$$

В третьей главе рассматриваются особенности и структура пакета программ по время - частотному анализу. Описываются основные подходы и алгоритмы используемые в пакете программ.

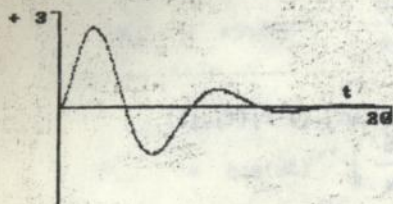


Рис. 1. Тестирующая функция $f_3(t)$.

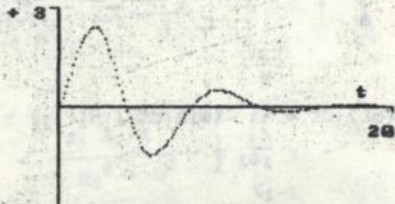


Рис. 4. Восстановление функции по 17 отсчетам методом локальной сплайн - интерполяции.

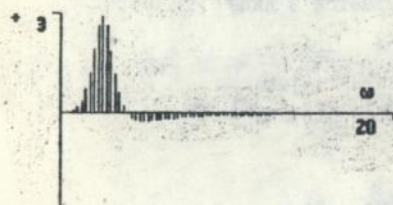


Рис. 2. Теоретическое значение мнимой части спектральной плотности

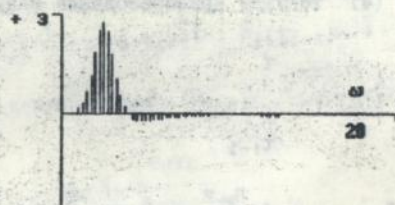


Рис. 5. Мнимая часть спектра полученная методом локальной сплайн - интерполяции

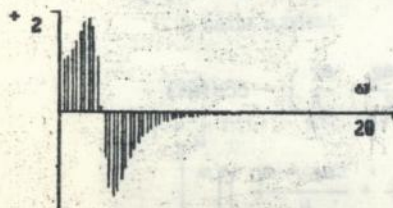


Рис. 3. Теоретическое значение действительной части спектральной плотности.

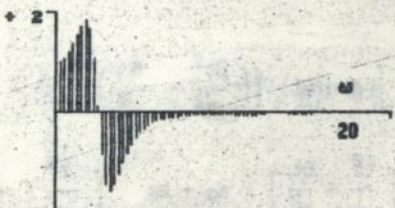


Рис. 6. Действительная часть спектра полученная методом локальной сплайн - интерполяции.

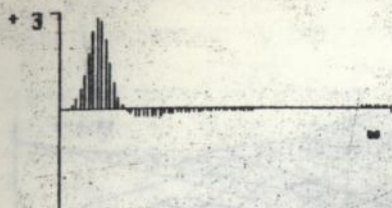


Рис. 7. Мнимая часть спектра полученная методом ДПФ 120-точечной последовательности .

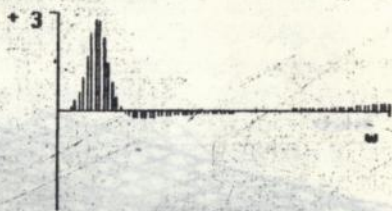


Рис. 8. Мнимая часть спектра полученная методом ДПФ 100-точечной последовательности .



Рис. 9. Действительная часть спектра полученная методом ДПФ 120-точечной последовательности .

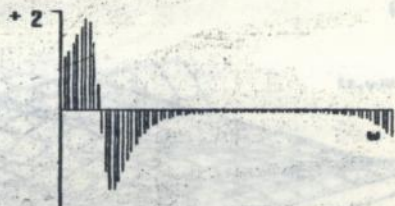


Рис. 10. Действительная часть спектра полученная методом ДПФ 100-точечной последовательности .

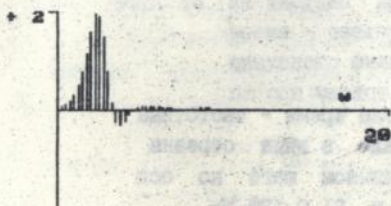
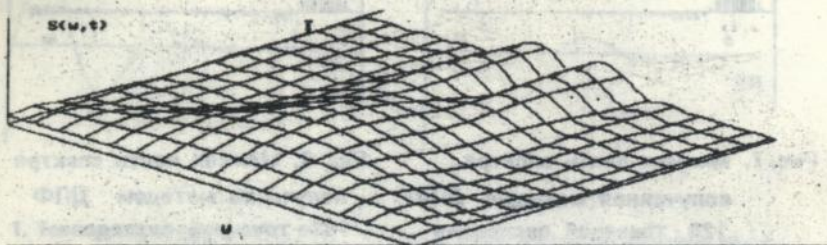


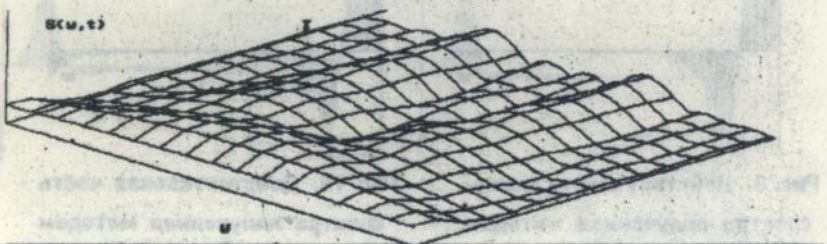
Рис. 11. Мнимая часть спектра полученная локальной сплайн-интерполяцией последовательности из семи точек .



Рис. 12. Действительная часть спектра полученная локальной сплайн-интерполяцией последовательности из семи точек .



A)



B)

Рис. 13. На рисунке представлены время - частотные характеристики сигнала в виде отрезка синусоиды, при различном шаге по оси частот А) $0.0625 \cdot W_0$ и Б) $0.125 \cdot W_0$.

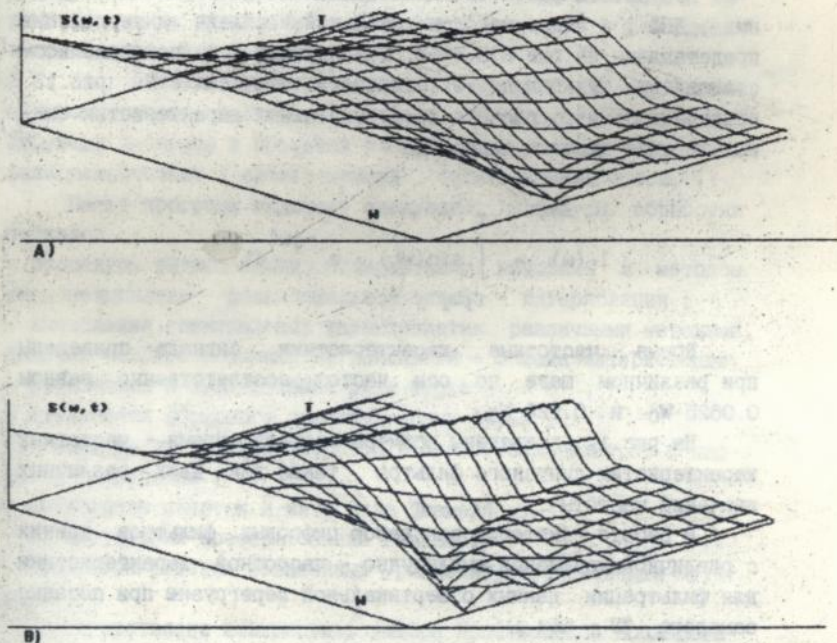


Рис. 14. На рисунке представлены примеры расчёта
время - частотных характеристик цифрового
синусного фильтра , при различном шаге
по оси частот А) $0.0625 \cdot \omega_0$ и Б) $0.125 \cdot \omega_0$.

Проведён сравнительный анализ точности вычисления интеграла Фурье методом локальной сплайн - интерполяции с другими методами по тестирующим функциям (4) .

Результаты расчётов для функции $f_3(t)$ методом средних, ДПФ, а также методом локальной - сплайн интерполяции представлены на рис. 2, 3, 5-12. На рисунках 1, 4. показано восстановление функции по её семнадцати отсчётам. На рис. 13. приведены примеры расчёта время-частотных характеристик сигнала в виде отрезка синусоиды

$$I_t(\omega) = \int_{\tau_j-1}^{\tau} \sin(Wt) \cdot e^{-j\omega t} dt$$

Время - частотные характеристики сигнала приведены при различном шаге по оси частот соответственно равном $0.0625 \cdot W_0$ и $0.125 \cdot W_0$.

На рис. 14. приведены примеры расчёта время - частотных характеристик синусного фильтра, также для двух различных значений частоты .

В работе синтезирован набор цифровых фильтров нижних с различной крутизной амплитудно - частотной характеристики для фильтрации данных о вертикальной перегрузке при посадке самолёта ТУ - 154 .

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. На основе анализа различных способов аппроксимации осуществлён выбор экспоненциально - полиномиальной сплайн - интерполяции, хорошо описывающей реальные сигналы .
2. Предложены процедуры построения локальной сплайн - интерполяции, обеспечивающие допустимый уровень искажений аппроксимируемого сигнала .
3. Разработаны итерационные алгоритмы определения параметров сплайн - интерполяции, доказана их сходимость и исследована эффективность на основе вычислительного эксперимента, получены оценки погрешности интерполяции .

4. Построена методика вычисления интеграла Фурье на основе экспоненциально - полиномиальной сплайн - интерполяции, позволяющая с высокой точностью вычислять мгновенные, текущие и установившиеся спектры для различного рода сигналов и характеристик их реализаций. Получены зависимости для оценки погрешности вычислений.

5. Разработанные модели сигналов легли в основу пакета программ время - частотного анализа сигналов и систем, моделирующих процессы в объектах различной физической природы: радиотехнических, электрических, биологических и т.п.

Пакет программ включает следующие процедуры обработки сигналов:

- процедуры интерполяции стандартными методами и методом экспоненциально - полиномиальной сплайн - интерполяции;
- вычисления спектральных характеристик различными методами, включая метод, основанный на локальной - сплайн интерполяции;
- разложения и суммирования ряда Фурье;
- вычисления обратного преобразования Фурье;
- процедуры построения цифровых и аналоговых фильтров и цифровой фильтрации;
- вычисления сверток и интеграла Дуамеля;
- осуществления преобразования Гильберта;
- процедура решения нелинейных уравнений итерационными методами.

Осуществлена возможность выбора произвольной последовательности и набора процедур при обработке сигналов.

6. Эффективность пакета программ подтверждена результатами сравнительного анализа с известными методами определения спектральных характеристик тестирующих сигналов.

7. Пакет программ использован для синтеза набора цифровых фильтров нижних частот с различной крутизной амплитудно - частотной характеристики при фильтрации данных о вертикальной перегрузке при посадке самолёта ТУ - 154.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. М.Ю. Антомонов, Л.Т. Русакова, В.О. Волощенко, Т.Ф. Аполян
Автоматизированная система анализа данных биолого - гигиенических исследований / Системы автоматизаций научных исследований: Межвуз. сб. науч. тр. - Днепропет-

- ровск, ДГУ, 1989, с. 33-38.
2. Т.Ф.Апоян. Использование методов цифрового спектрального анализа при обработке медико - биологической информации в автоматизированном режиме / Бионика - 89 : Тез. докл. VIII Респ. конф. - Кременчуг 1989, с.7.
 3. Т.Ф.Апоян. Разработка метода определения структуры и параметров математических моделей / Биомедицинская кибернетика : Сб. науч. тр. / АН УССР. Ин. киб. - К. 1989. с. 49 - 53.
 4. Т.Ф.Апоян. Использование методов цифрового спектрального анализа при моделировании реакции биологических объектов на внешнее воздействие / Физиологическая и медицинская информатика : Сб. науч. тр. / АН УССР. Ин. Киб. - К. 1990. с. 49-53.
 5. Т.Ф.Апоян. Применение экспоненциально - полиномиальной интерполяции функции по её дискретным отсчётам в средствах РЭР. / Защита информации : Сб. науч. тр. / КМУГА - К. 1995. с. 68-70.
 6. Т.Ф.Апоян. Пакет программ время - частотного анализа электрических цепей / Методы управления системами эффективного функционирования электрофицированных пилотируемых навигационных комплексов / Авионика 95 : Тр. III Межд. конф. / КМУГА - К. 1995. с. 38-39

В работе [1] автору принадлежат алгоритмы математического моделирования и программное обеспечение .

Апоян Т.Ф.: Розробка методів апроксимації функцій для машинного аналізу сигналів в часо-частотній області. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.02 - математичне моделювання в наукових дослідженнях, Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України, Київ, 1995.

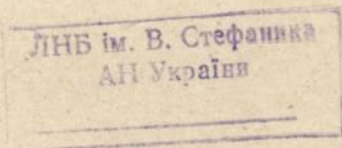
Пропонується метод локальної сплайн-інтерполяції для аналізу сигналів в часо-частотній області. На його ґрунті реалізується алгоритм обчислення миттєвих, поточних та сталих спектрів. Розроблен пакет програм часо-частотного аналізу сиг-

налів та систем. Пакет програм дозволяє синтезувати цифрові та аналогові фільтри в часо-частотній області.

Apozyan T.F. Development of function approximation methods for automatic analysis of signals in the time - frequency band .

Theses the candidate's degree of engineering specialty 05.13.02 - mathematical simulation in scientific research. Institute of simulation problems in power engineering Ukrainian National Academy of Sciences, Kiev 1995 .

The method of local spline - interpolation for signal analysis in the time - frequency band suggested . Based on this method the algorithm for calculation of instantaneous , current and steady spectrums is implemented . The software package for the time - frequency analysis of signal and systems developed . This software allows to design digital filters in the time frequency band .



Подписано к печати 15.05.1995г. Формат 60x84/16
Бумага офсетная Усл.-печ.лист, 1,0. Уч.-изд.лист 1,0.
Тираж 100, Заказ 238.

Полиграф. уч-к Института электродинамики АН Украины,
252057, Киев-57, проспект Победы, 56.

AB 3240
AB 32.402