

2. Ярославский И.П. Введение в цифровую обработку изображений. - М.: Советское радио, 1979.
3. Голд Б., Рейдер Ч. Цифровая обработка сигналов. - М.: Советское радио, 1973.

УДК 681.519.3:681.324:519.216

В.Е.Баранов, Д.А.Иванов, Ш.Ю.Исмаилов,  
Б.М.Павлов, М.И.Рева

### ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ МНОГОМЕРНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Измерение статистических характеристик многомерных случайных процессов (СП) является актуальной задачей во многих областях научных исследований, к числу которых относится гидроакустика. Статистические модели гидроакустического поля в последнее время находят все большее применение. Техническая реализация подобных измерений является сложной и недостаточно разработанной. В данной работе рассмотрена измерительно-вычислительная система (ИВС), предназначенная для измерения статистических характеристик четырехмерного СП, составляющими которого являются давление и три проекции вектора скорости гидроакустической среды. Входной сигнал ИВС представляет собой четыре электрических напряжения, пропорциональные составляющим исследуемого СП, которые рассматриваются как стационарные и стационарно связанные в широком смысле, а также эргодические и совместно эргодические СП с верхней граничной частотой спектра 300 Гц. К числу измеряемых статистических характеристик относятся математические ожидания и дисперсии всех составляющих, взаимные корреляционные функции и взаимные спектральные плотности каждой проекции вектора скорости и давления.

ИВС построена на базе мини-ЭВМ "Электроника 100/И". В состав ИВС входит минимальный комплект машин, дополнительное магнитное оперативное запоминающее устройство (МОЗУ) емкости 28 К слов, устройство управления дополнительным МОЗУ, блок контроля на четность, добавляемый арифметический блок, часы реального времени (ЧРВ), многоканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) [1]. Кроме

перечисленных устройств, система содержит многоканальный масштабирующий преобразователь, предназначенный для согласования пределов изменения входных сигналов ИВС с пределом измерения АЦП.

В ИВС реализован метод измерения взаимной спектральной плотности СП, основанный на дискретном преобразовании Фурье (ДПФ) оценки взаимной корреляционной функции [2]. С целью сокращения объема вычислений оценка взаимной корреляционной функции СП вычисляется по слабо коррелированной выборке [3]. Последнее делает принятый метод измерения сравнимым по быстродействию с методом, основанным на быстром преобразовании Фурье реализаций СП. Достоинством используемого метода является вычисление на промежуточном этапе оценки взаимной корреляционной функции, позволяющей в условиях недостаточности априорной информации правильно выбрать параметры спектрального анализа. Для уменьшения дисперсии оценки взаимной спектральной плотности применяется сглаживание с помощью корреляционного окна [3].

Принятый алгоритм функционирования ИВС включает следующие основные операции. Первоначально непрерывные входные сигналы подвергаются масштабированию и преобразованию в цифровую форму. Для задания интервала дискретизации используются ЧРВ. Квантование сигналов осуществляется поочередно с помощью одного АЦП. Полученные дискретные последовательности отсчетов заносятся в МОЗУ, после чего вычисляются оценки измеряемых статистических характеристик. цифровая информация вводится в МОЗУ и обрабатывается блоками по одному массиву отсчетов каждого сигнала. Максимальная размерность массива - 2048 отсчетов. После окончания обработки блока данных результаты промежуточных вычислений заносятся в память ЭВМ, а на место прежнего блока заносится новый. При вводе исходных данных оператором системы задаются следующие параметры алгоритма: интервал дискретизации входных сигналов, объем выборки (размерность массива отсчетов и число блоков данных), форма и ширина корреляционного окна, параметр прореживания выборки при расчете оценки взаимной корреляционной функции. Максимальное число частот, на которых оцениваются взаимные спектральные плотности СП, равно 64.

При разработке программно-математического обеспечения (ПМО) ИВС было использовано стандартное ПМО ЭВМ "Электроника 100/И", а также усовершенствованная версия интерпретатора ФОКАЛ-1975 с биб-

лиотекзы  $Z$  - функций [4], сочетающая достоинства языков программирования высокого уровня с возможностью программирования операций ввода-вывода.

Важнейшее значение при проектировании и эксплуатации измерительных систем имеют вопросы метрологического обеспечения. Авторами были проведены лабораторные испытания ИВС с целью экспериментального оценивания метрологических характеристик (МХ) и проверки правильности функционирования системы. Испытаниям подвергались подсистема ввода аналоговой информации, подсистема обработки цифровой информации и ИВС в целом.

При испытаниях подсистемы ввода аналоговой информации использовались источник напряжения и служебная программа расчета и регистрации оценок характеристик погрешности. Экспериментальные исследования показали, что систематическая составляющая основной амплитудной погрешности любого из каналов ввода не превышает 0,3%, среднее квадратическое отклонение случайной составляющей - 0,5%. Систематическая составляющая погрешности интервала дискретизации не превышает 0,5%.

Цель испытаний подсистемы обработки цифровой информации - проверка правильности реализации алгоритма обработки занесенных в МОЗУ дискретных последовательностей отсчетов входных сигналов. Методика испытаний состоит в обработке тестовых массивов данных, заносимых в память ИВС с помощью служебной программы, и в сравнении результатов расчетов с теоретическими значениями соответствующих статистических характеристик.

При испытаниях ИВС в целом измерялись статистические характеристики образцовых аналоговых сигналов: синусоидального напряжения и стационарного эргодического нормального СП с нулевым математическим ожиданием, корреляционной функцией вида

$$R(\tau) = \sigma^2 e^{-2\alpha^2 \tau^2}$$

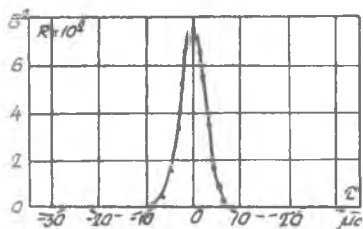
и спектральной плотностью

$$G(f) = \frac{\sigma^2 \sqrt{2\pi}}{\alpha} e^{-\frac{\pi^2 f^2}{2\alpha^2}}$$

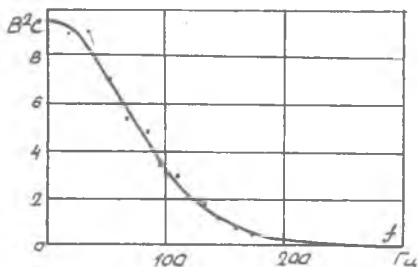
где  $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение СП;

$\alpha$  - постоянный параметр;

$e = 2,718282$ .



Р и с. 1. Результат расчета оценки корреляционной функции



Р и с. 2. Результат расчета оценки спектральной плотности

Источником образцового СП служил генератор случайных процессов ГСП-3 [5]. На рис. 1 и 2 приведены результаты расчета оценок корреляционной функции и спектральной плотности СП с параметрами  $\sigma = 0,283$  В и  $\alpha = 200$  1/с при интервале дискретизации 500 мкс и объеме выборки 20480. Сплошной линией изображены теоретические характеристики, точками – значения оценок. Значения погрешностей полученных оценок не превышают расчетных.

Разработанная ИВС достаточно универсальна и может быть использована для измерения большого числа статистических характеристик одномерных и многомерных СП. Практическое значение результатов работы состоит в возможности их применения при проектировании систем подобного класса.

#### Л и т е р а т у р а

1. Акушский И.Я., Трояновский В.М. Программирование на "Электронике-100" для задач АСУ ТП. - М.: Советское радио, 1978.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. - М.: Мир, 1974.
3. Грибанов Ю.И., Мальков В.Л. Выборочные оценки спектральных характеристик стационарных случайных процессов. - М.: Энергия, 1978.

4. В а с и н А.М. и др. Система автоматизации научных исследований на базе интерфейса мини-ЭВМ. Тезисы докладов всесоюзной конференции по измерительным информационным системам ИИС-79. Л.: 1979.
5. И с м а и л о в Ш.Ю., К о м ш и л о в О.А., К о н д а к о в А.Д., С ы с о в Н.Ф., Т ю л е н е в К.В. Измерительный генератор случайных процессов. - В сб.: Специальные автоматические устройства и системы для научных исследований. Труды ВНИИП, 1975, вып. 6.

УДК 519.242

М.Л.К а л я е в

#### ОБОБЩЕННЫЙ СТОХАСТИЧЕСКИЙ ВАРИАЦИОННЫЙ МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе [1] был предложен стохастический вариационный метод, развитый впоследствии в работах [2, 3]. Целью настоящей работы является обобщение стохастического вариационного метода (СВМ) для планирования физического эксперимента, ожидаемая математическая модель объекта исследования которого может быть представлена в виде нелинейной краевой задачи для системы дифференциальных уравнений. Кроме того, будут рассмотрены свойства метода в сравнении с различными подходами к минимизации целевой функции: методом сеток, методом конечных элементов, методом спуска и методом Ньютона.

Обобщение СВМ. В работах [1-3] СВМ был применен для решения уравнения Шредингера. Обобщим метод на случай аппроксимации функции, являющейся решением нелинейной краевой задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений или уравнений в частных производных. Такая постановка задачи характерна для планирования экспериментов в различных областях теории поля. Итак, перейдем в тех уравнениях, где это возможно, к эквивалентному вариационному принципу в форме Лагранжа. Используем для нахождения коэффициентов линейной комбинации базисных функций, граничные условия, линейные относительно функций, определяемых экспериментально, или линейные дифференциальные уравнения, для которых постановка ва-