

УДК 681.325 : 681.787

В. А. АЛЕШИН

(Фрязино Московской обл.)

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЛАЗЕРНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ-ДЕФОРМОГРАФОВ И МИКРОЭВМ

Введение. В геофизических исследованиях, наряду с деформографами механического типа [1], в последние годы применяются лазерные интерферометры-деформографы [2], которые позволяют получать ценную информацию о внутреннем строении Земли, а также используются при проведении работ по поиску предвестников землетрясений. Использование лазерных интерферометров существенно, на 1—2 порядка, повышает чувствительность деформографических измерений и расширяет полосу частот регистрируемого сигнала [2, 3]. Одновременно с расширением динамического и частотного диапазонов возрастает и объем поступающей от интерферометра информации, для эффективной обработки которой требуется ЭВМ.

В [4] сообщается о разработке автоматизированного комплекса на базе лазерных интерферометров и микроЭВМ, предназначенного для геофизических и сейсмических измерений. Там же описаны структурная схема комплекса, основные технические характеристики лазерных деформографов и некоторые предварительные результаты проведенных исследований.

В данной работе структурная схема приводится с теми изменениями, которые были внесены в процессе модернизации комплекса [4] с целью расширения его функциональных возможностей; подробно описываются алгоритмы его работы в режимах сбора и обработки данных; демонстрируются результаты применения комплекса для изучения спектрально-временных характеристик сигналов лазерных деформографов.

Структура и технические характеристики комплекса. В состав автоматизированного комплекса входят два лазерных деформографа с базами 500 и 10 м и лабораторный вычислительный комплекс МЭРА 60 на основе микроЭВМ «Электроника 60», оснащенный стандартными внешними устройствами ввода-вывода (накопитель на гибких магнитных дисках ИГМД, алфавитно-цифровое печатающее устройство — АЦПУ) и аппаратурой КАМАК (рис. 1). Связь интерферометров с ЭВМ осуществляется по кабельной линии через КАМАК.

Интерферометр с базой 500 м снабжен системой регистрации гетеродинного типа [5], в которой используется модуляция интерференционной картины по пилообразному закону. Вариации длины плеча интерферометра регистрируются путем измерения разности фаз опорного и информационного сигналов, а в качестве фазометра используется ревер-

сивный счетчик. Параллельно опорный и информационный сигналы поступают по кабельной линии на аналоговую сигнальную систему. Входящий сигнал усиливается входной модуль В1, который содержит двухканальный усилитель-ограничитель с гальваническими развязками на входе, устройство формирования импульсных последовательностей в опорном и информационном каналах и временной дискриминатор, обеспечивающий временное разделение импульсов, поступающих на входы РСЧ. Управление счетчиком и считывание с него информации производится при выполнении соответствующей программы.

В интерферометре с базой 10 м для регистрации применяется аналоговая следящая система [3]. Выходной сигнал следящей системы, пропорциональный смещению интерферограммы, поступает по двухпроводной линии на входное устройство В2, обеспечивающее прием аналогового сигнала в динамическом диапазоне ± 10 В и подавление синфазной помехи не менее 60 дБ. На вход аналого-цифрового преобразователя АЦП (АЦП-14, диапазон входного сигнала ± 7 В, время преобразования 2 мс) сигнал поступает через модуль фильтров низкой частоты (ФНЧ), содержащий набор переключаемых ФНЧ с частотами среза 1, 35, 60, 120 Гц, а также три режекторных фильтра, настроенных на частоту сети 50 Гц и ее гармоники 100 и 150 Гц.

С целью расширения возможностей комплекса для записи и хранения больших объемов информации в его состав введен накопитель на магнитной ленте (НМЛ) ИЗОТ 5003, обеспечивающий запись до 3,5 Мбайт информации.

Для повышения быстродействия процессора микроЭВМ «Электроника 60» используется устройство автономной регенерации [6] оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) динамического типа. Полный объем используемого ОЗУ для данной конфигурации микроЭВМ составляет 56 Кбайт.

Дополнительно в состав комплекса введен драйвер цветного телевизора [7] (модуль ДЦТ на рис. 1) для отображения на его экране графической информации.

Дополнительно в состав комплекса введен драйвер цветного телевизора [7] (модуль ДЦТ на рис. 1) для отображения на его экране графической информации.

Программное обеспечение и алгоритмы работы комплекса. Для управления работой комплекса разработано программное обеспечение, в которое включены программы, позволяющие проводить сбор данных лазерных деформографов, их оперативную спектрально-временную обработку, а также ряд сервисных программ. Программы и подпрограммы, написанные на языках Фортран-4 и Макроассемблер, выполняются под управлением операционной системы РАФОС-2 [8] и хранятся на магнитном диске в виде отдельных программных модулей.

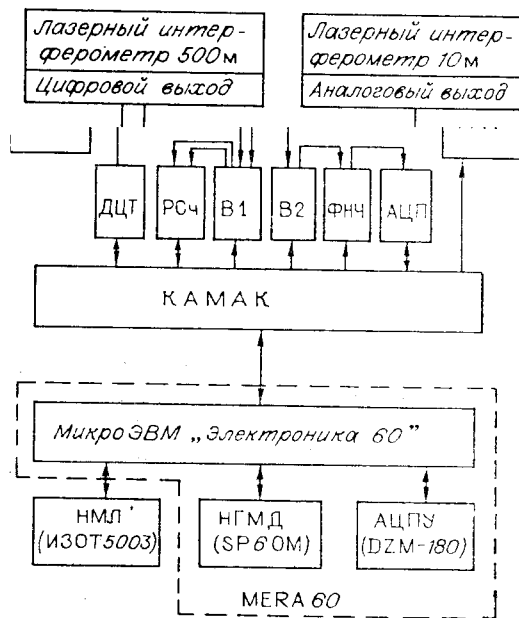


Рис. 1

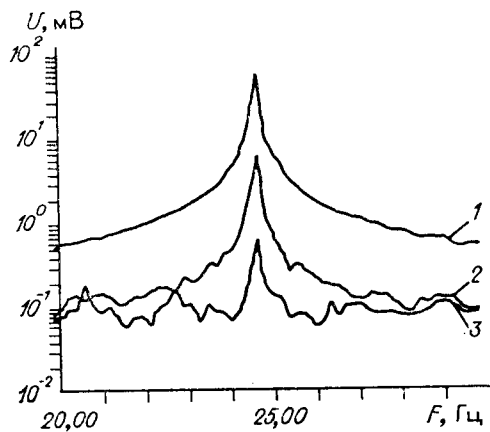


Рис. 2

При построении графиков на графопостроителе ГРП (см. рис. 1) использовались программы и графическая библиотека, описанные в [9]. Программы сбора данных позволяют проводить измерения на обоих интерферометрах одновременно. При этом результаты измерений в виде цифрового кода с частотой дискретизации F_d заносятся в буфер, отведенный в ОЗУ микроЭВМ, который после заполнения переписывается на какое-либо из внешних запоминающих устройств (НМЛ, НГМД). Максимальный размер буфера при данной конфигурации не превышает 40 Кбайт. Получение непре-

рывного во времени ряда данных большого объема обеспечивает программа, построенная по принципу двойной буферизации, которая позволяет осуществить непрерывную запись на магнитной ленте массива данных до 3,5 Мбайт. Частота F_d устанавливалась в зависимости от условий эксперимента в диапазоне 3,1—312,5 Гц.

С целью повышения точности измерений при использовании системы регистрации на базе реверсивного счетчика разработан алгоритм предварительной обработки сигнала, в соответствии с которым в интервале между соседними выборками производится максимально возможное количество отсчетов данных РСЧ и их суммирование на всем интервале $T_d = 1/F_d$. Быстродействие ЭВМ с платой автономной регенерации ОЗУ позволяет при $F_d = 312,5$ Гц ($T_d = 3,2$ мс) произвести суммирование по $n = 30$ отсчетам показаний счетчика, что приводит к снижению дискретности отсчета интерферометра до 0,03 мкм. К тому же этот метод позволяет осуществить низкочастотную фильтрацию за счет интегрирования сигнала и тем самым существенно снизить вероятность появления ложных частот подмены [10] в спектре исследуемого сигнала. При приеме аналоговых сигналов для этого служит набор ФНЧ.

Вычисление спектра сигнала выполняется с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ). Перед спектральной обработкой данные могут подвергаться редактированию с целью устранения случайных выбросов и разрывов, обусловленных аппаратурными сбоями.

Программа спектральной обработки позволяет исследовать временные последовательности, полученные путем деления массива данных на равные секции (реализации) длиной $N = 2^n$ ($n = 8-12$). В программе предусмотрены возможности удаления постоянной составляющей, а также линейного и параболического трендов из массива данных перед процедурой БПФ и усреднения спектра по заданному числу реализаций $M \geq 2$. Кроме того, для ослабления эффектов секционирования может применяться сглаживающее косинусное окно [10]. Результаты вычислений фиксируются на внешних устройствах и могут быть представлены в виде таблиц и графиков.

Применение комплекса для исследования микросейсмических деформаций в диапазоне частот 0,1—150 Гц. С помощью автоматизированного комплекса получены амплитудные спектры калибровочных сигналов (рис. 2) на частоте 25 Гц. Регистрировались сигналы с относительными амплитудами $8 \cdot 10^{-10}$ (1), $8 \cdot 10^{-11}$ (2) и $8 \cdot 10^{-12}$ (3). Минимальная амплитуда спектральных пиков, выделяемых на фоне помех, в диапазоне частот 20—30 Гц порядка 10^{-12} . Уровень помех на частотах штурмовых микросейсм 0,1—0,3 Гц примерно на порядок выше, поэтому ми-

нимальная амплитуда деформаций, регистрируемая нашими инструментами в этом диапазоне, находится в пределах 10^{-10} — 10^{-11} .

Эффективным средством выделения и исследования спектральных компонент сигналов, регистрируемых на выходе лазерного деформографа, является метод спектрально-временного анализа [11]. Для реализации метода используется программа, обеспечивающая ввод данных непосредственно от деформографа, вычисление спектров с применением алгоритма БПФ и вывод заданного количества спектральных компонент в виде полутонного изображения на движущейся бумажной ленте АЦПУ, причем одновременно можно выводить на печать до 128 гармоник спектра. Время одного прохода программы при вычислении спектра (без усреднения, $M=1$) для $N=2^{10}$ и вывода его на печать порядка 60 с. Имеются версии программы, которые позволяют обрабатывать данные, записанные на диске или магнитной ленте. При исследовании сигналов лазерных деформографов с помощью автоматизированного комплекса был выделен ряд спектральных пиков на частотах $F_k = 50/k$ Гц, $k=1, 2, \dots, 16$, которые сопоставимы со скоростями вращения роторов наиболее мощных электрических синхронных машин [12].

Заключение. Автоматизированный измерительный комплекс позволяет принимать, фиксировать и обрабатывать сигналы одновременно от двух геофизических лазерных деформографов.

Комплекс дает возможность проводить оперативную спектральную обработку сигналов лазерных деформографов в диапазоне частот 0,1—150 Гц.

Применение метода спектрально-временного анализа эффективно при изучении микросейсмических сигналов, источником которых могут являться мощные синхронные машины и другие промышленные установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Латынина Л. А., Кармалеева Р. М. Деформографические измерения.— М.: Наука, 1978.
2. Бергер Д. Применение лазерной техники в геодезии и геофизике.— М.: Недра, 1977.
3. Алешин В. А., Дубров М. Н., Яковлев А. П. Лазерный интерферометр для измерения деформаций земной коры // ДАН СССР.— 1980.— 253, № 6.
4. Алешин В. А., Дубров М. Н., Иванов В. В. и др. Автоматизированные лазерные интерферометры для сейсмических измерений // Сейсмометры, регистраторы, сейсмометрические каналы (сейсмические приборы).— М.: Наука, 1986.— Вып. 18.
5. А. с. 896392 СССР. Система регистрации перемещений в оптико-электронных измерительных устройствах с интерференционной модуляцией/В. А. Алешин, М. Н. Дубров.— Опубл. 82. Бюл. № 1.
6. Алешин В. А., Стрельников В. Н. Устройство для автономной регенерации динамической памяти в платах П1, П2, П3 микроЭВМ «Электроника 60» // Электрон. пром-сть.— 1985.— Вып. 9(147).
7. Семенов Ю. Б., Челноков Л. П., Портне Р. Драйвер цветного телевизора.— Дубна, 1981.— (Препр./Объед. ин-т ядер. исслед.; 3-81-271).
8. Валикова Л. И., Вигдорчик Г. В., Воробьев А. Ю., Лукни А. А. Операционная система СМ ЭВМ РАФОС.— М.: Финансы и статистика, 1984.
9. Петрова Л. Г., Элбакидзе А. В. Опыт применения малых ЭВМ для экспериментальных исследований.— М., 1982.— (Препр./АН СССР. ИРЭ; 1(322)).
10. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов.— М.: Мир, 1982.
11. Дубров М. Н., Алешин В. А., Яковлев А. П. О связи высокочастотных микросейсмических деформаций с напряженным состоянием литосферы // ДАН СССР.— 1987.— 293, № 5.
12. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины.— М.: Энергия, 1980.

Поступило в редакцию 29 февраля 1988 г.