

Заключение. Система базовых программных модулей (системное программное обеспечение) является совместимой, легко расширяемой, недублирующей написание сходных по конечному результату программ; она доступна программисту-пользователю, реализующему свой алгоритм на языке высокого уровня (FORTRAN-IV, PLR-10). Модули написаны на Ассемблере и оптимизированы либо по объему занимаемой оперативной памяти, либо по быстродействию; они обеспечивают удобство работы с внешними устройствами в диалоговом режиме. Программист-пользователь освобожден от необходимости подробно знакомиться с КАМАК-аппаратурой и командами управления, слежения и коррекции автомата и его окружения, так как он может использовать программные модули, реализующие конкретные функции ввода/вывода и предварительной обработки данных на уровне вызова с параметрами, с фиксированием переменных либо через общие (COMMON) переменные. На основе этих модулей созданы и создаются диалоговые и полностью автоматизированные системы обработки изображений, использующие все возможности фотометрического автомата, его окружения и дисковой операционной системы ЕС-1010. Возможность применения оверлейной структуры исполняемых программ, применяющих описанные модули нижнего и среднего уровней, позволяет в известной степени уменьшить влияние ограниченности оперативной памяти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковенко Н. С. Базовое программное обеспечение комплекса обработки аэрокосмической информации.— Автометрия, 1980, № 4.
2. Бурый Л. В. и др. Обработка изображений.— Автометрия, 1980, № 3.
3. Нестерихин Ю. Е., Пушной Б. М. О системе автоматической обработки изображений.— Автометрия, 1977, № 3.
4. Система обслуживания файлов на диске FMS-10: Руководство пользователя. Видеотон, 1975.
5. Яковенко Н. С. Система подготовки и редактирования текстовой информации для ЕС-1010.— Новосибирск: изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1979. (Препринт/АН СССР, Сиб. отд-ние, ИАиЭ; № 110).
6. Редакторы связей: Руководство пользователя. Видеотон, 1974.
7. Бредихин С. В. и др. Программирование средств связи и управления вводом/выводом в унифицированной магистральной системе обмена (УМСО).— В кн.: Автоматизация эксперимента. Новосибирск: изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1976.

Поступила в редакцию 4 февраля 1982 г.

УДК 621.378.9 : 778.4

А. Г. КОЗАЧОК
(Новосибирск)

ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЧНОСТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ КОГЕРЕНТНОЙ ОПТИКИ И ГОЛОГРАФИИ

Исследование процессов механического разрушения предполагает экспериментальное определение большого числа характеристик на макро- и микроуровнях. Внимание, которое привлекают когерентно-оптические методы для проведения таких экспериментов, в значительной степени объясняется тем, что они являются комплексными и позволяют в рамках единой измерительной системы получить разностороннюю информацию о процессе разрушения.

На рис. 1 приведена блок-схема, показывающая взаимоотношения параметров прочности и методов голографической интерферометрии. Как

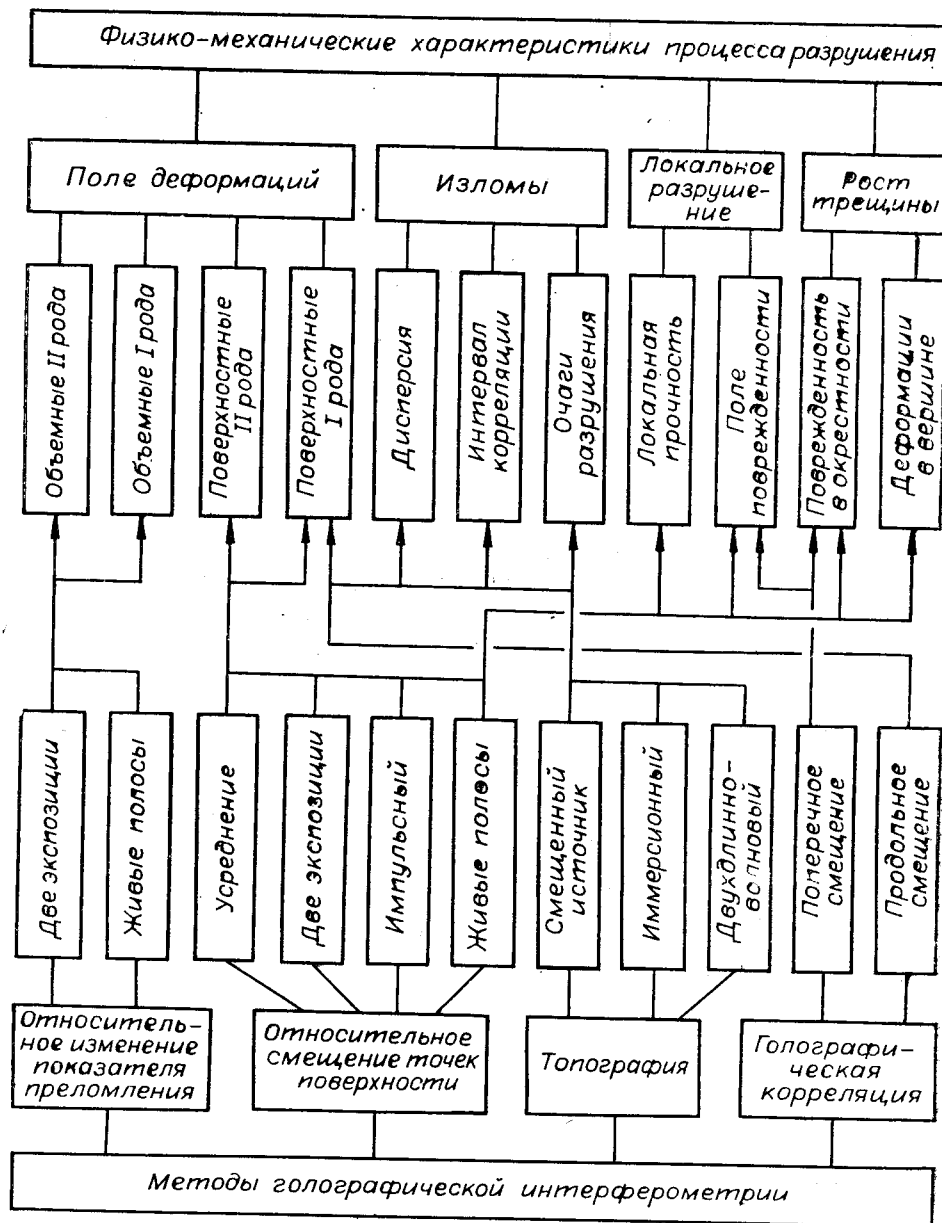


Рис. 1.

видно, голографическая интерферометрия обладает целым набором средств позволяющим исследовать большинство характеристик прочности. Не всем линиям на блок-схеме соответствует одинаковый уровень существующих разработок. Если методы измерения поверхностных деформаций I рода являются сравнительно хорошо отработанными, то по измерению интервалов корреляции и дисперсии изломов, а также деформациям вблизи вершины трещин имеются лишь отдельные эксперименты, демонстрирующие реальные возможности определения указанных характеристик. Что касается объемных деформаций, определения полей поврежденности, локальной длительной прочности, то здесь имеются принципиальные предпосылки, которые еще нуждаются в экспериментальной проверке.

Однако широкое внедрение методов голографической интерферометрии в практику экспериментальных исследований сдерживается из-за отсутствия инженерных методик обработки и расшифровки восстанавли-

ваемой с голограмм информации. Их разработка требует создания новых и совершенствования существующих методов голографической интерферометрии, особенно в плане улучшения метрологических характеристик, а для их реализации необходимы измерительно - вычислительные системы с широкими функциональными возможностями.

Основными элементами таких систем являются голографический интерферометр, устройство ввода оптической информации в ЭВМ, собственно ЭВМ с необходимым периферийным оборудованием и устройства вывода результатов в удобном для дальнейшего использования виде [1]. Однако в зависимости от круга решаемых задач эти элементы могут быть реализованы по-разному.

В статье излагаются некоторые результаты по созданию голографических измерительных систем, полученные в Новосибирском электротехническом институте.

Первоочередной задачей при изучении разрушения, решение которой необходимо практически во всех прочностных исследованиях, является измерение полей деформаций. Нами предложена общая схема определения полей поверхностных деформаций голографическими методами, допускающая при получении интерферограмм известными методами полную автоматизацию их обработки и расшифровки (рис. 2). Для этого были разработаны и реализованы на ЭВМ способ устранения грубых промахов при определении векторов смещений многоголограммным методом и способ определения нормалей к поверхности объекта в заданных точках [2].

Первый способ позволяет устранить неоднозначность в определении вектора смещения, связанную с тем, что каждая его проекция находится с точностью до знака. Для получения однозначного решения вводится дополнительное направление наблюдения, что дает возможность доопределить систему уравнений и получить достоверный результат.

Не менее важным является и вопрос об определении направления нормали в исследуемой точке, необходимого при вычислении поверхностных деформаций. Поскольку для определения компонент смещения используются голографические методы, целесообразно аналогичным образом получить и информацию о нормали. Это позволяет сделать методы голографической топографии [3].

Интерферометр, реализующий предложенные способы, должен представлять единое целое и одновременно обеспечивать высокую точность определения компонент вектора смещения. В [2] показано, что оптимальной с точки зрения критерия минимума погрешности измерения модуля вектора смещения является схема голографического интерферометра, у которого биссектрисы углов между направлениями освещения и наблюдения образуют ортогональную систему.

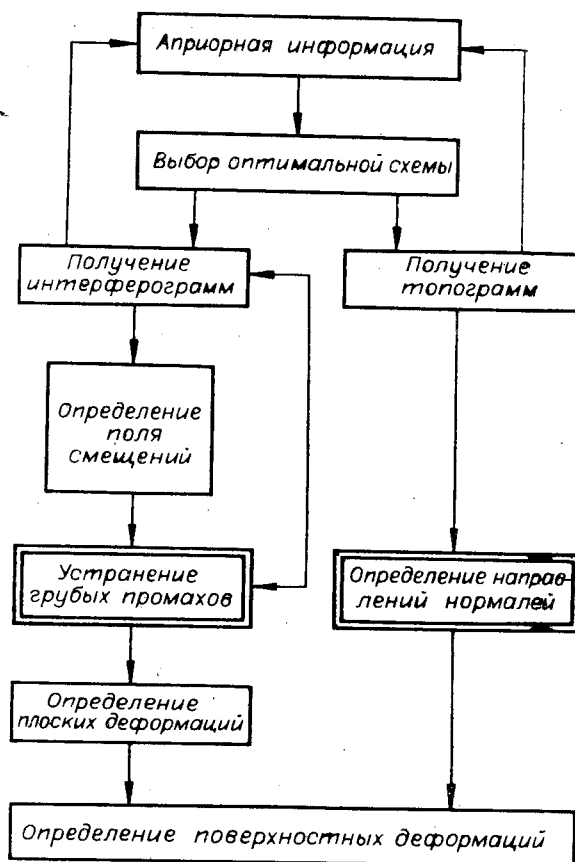


Рис. 2.

С учетом изложенного требования к измерительному интерферометру могут быть сформулированы следующим образом:

1. Для реализации способа устранения грубых промахов при измерении интерферометр должен обеспечивать одновременную регистрацию четырех интерферограмм.

2. Интерферометр должен быть пригоден для регистрации голографических топограмм объекта, необходимых для получения информации о нормальных к поверхности в исследуемых точках.

3. Интерферометр должен иметь возможность простой перестройки схемы для реализации оптимальных схем с учетом априорной информации об объекте и условиях нагружения.

Схема интерферометра, удовлетворяющая изложенным требованиям, описана нами в [2]. Интерферометр выполнен на горизонтальной виброизолированной платформе, так что все оптические элементы, входящие в него, находятся в одной рабочей плоскости. Исследуемый объект располагается над поверхностью стола в вершине правильной пирамиды, основанием которой является равносторонний треугольник. На вершинах и в центре треугольника установлены зеркала, задающие направления освещения и наблюдения. Изменяя с помощью специального приспособления высоту, на которой расположен исследуемый объект, можно изменять углы между направлениями наблюдения, в том числе обеспечивать их ортогональность. При этом все оптические элементы остаются на своих местах, а проводится только их юстировка. Рядом с фотопластинкой устанавливается фотоприемник интегрирующего фотометра, который в зависимости от освещенности автоматически задает и осуществляет экспонирование голограмм [4]. Для этого перед началом работы определяется реальная чувствительность используемых фотопластинок, которая вводится в программный блок фотометра. Источником когерентного излучения в интерферометре служит ионный газовый лазер, описанный в [5].

Важным вопросом при создании систем автоматизации обработки изображений является выбор устройства ввода информации в ЭВМ, поскольку им, как и интерферометром, во многом определяются характеристики системы и ее реальные возможности.

Устройствам ввода информации в ЭВМ с промежуточного носителя посвящены публикации [6—8].

В нашей работе будут рассмотрены устройства, реализующие ввод изображений в ЭВМ, минуя промежуточный носитель (возможности современных фотоматериалов не обеспечивают регистрации голограмм без искажений).

Важной характеристикой устройства ввода является тип применяемого пространственного сканатора. Возможно применение двух типов устройств с электромеханической и электронной развертками изображения. Электронная развертка обладает такими преимуществами, как быстрдействие, возможность произвольной выборки координат фотометрирования, электронное управление размером считывающей апертуры. Вместе с тем она уступает электромеханической развертке в количестве элементов разложения, в возможности применения апертуры произвольной формы, а также в легкости визуального контроля положения сканирующего элемента. Существенное преимущество электромеханических устройств — почти полное отсутствие геометрического искажения раstra и неравномерности крутизны фотоэлектрического преобразования, которое в электронных трубках довольно велико. В связи с этим выбор сканатора проводится исходя из конкретных условий работы и вида решаемых задач.

В системе обработки изображений при исследовании полей деформаций в качестве сканатора устройства ввода используется диссектор, обладающий линейной световой характеристикой в широком диапазоне освещенностей и высоким быстрдействием [8].

Применение цифроаналоговых преобразователей для управления от-

клоняющей системой позволяет осуществлять произвольное перемещение сканирующей апертуры по изображению, проецируемому на фотокатод.

Такая организация работы позволяет рассматривать устройство ввода как дополнительную внешнюю память и исключает необходимость полного ввода кадра в ЭВМ.

Устройство имеет следующие технические данные: размер рабочей поверхности фотокатода 18×18 мм², число адресуемых точек считывания $2^8 \times 2^8$, диаметр вырезающей диафрагмы 50 мкм, время вывода считывающей апертуры в произвольную точку фотокатода не более 70 мкс, приведенная погрешность координаты считывания не более 3%, рабочий диапазон освещенностей фотокатода 0,1...100 лк, число уровней квантования видеосигнала 2^8 , неравномерность чувствительности по фотокатоду не более 30%.

Устройство ввода, ориентированное на анализ статистических характеристик спекл-структуры изображения, выполнено на основе шаговых двигателей и ФЭУ с точечной диафрагмой на входе [10]. Перемещение считывающей апертуры по координатам осуществляется двумя шаговыми двигателями и прецизионными винтовыми парами. Применение для фотоэлектрического преобразования ФЭУ с чувствительностью порядка 10 А/лм и мощного ионного газового лазера для восстановления голограмм позволило уменьшить диаметр считывающей диафрагмы до 10 мкм. Приведем краткие технические данные электромеханического устройства: размер сканируемого поля 60×60 мм², быстродействие привода $25 \div 300$ шагов/с, шаг сканирования 6 мкм, максимальное число точек в строке 10^4 , максимальное число строк 10^4 , нелинейность фотоэлектрического преобразования не более 2%.

При решении ряда задач перспективным выглядит применение твердотельных аналогов телевизионных передающих трубок-матриц ПЗС, сочетающих электронное сканирование с отсутствием координатных погрешностей [11]. В макете разработанного устройства была использована матрица МИС-19, имеющая 64×64 элемента, при размере кристалла 3×3 мм. Проведенные исследования подтвердили возможность создания устройства ввода на основе ПЗС. Вместе с тем они выявили и ряд недостатков: большую величину темнового тока и геометрического шума, обусловленного разным количеством переносов для зарядов с различных участков поверхности кристалла.

Важным вопросом при создании систем является выбор ЭВМ для обработки и расшифровки введенной информации.

В настоящее время нами в зависимости от сложности решаемой задачи и места проведения экспериментов используются два типа вычислительных комплексов: на базе мини-ЭВМ СМ-4 и на базе микро-ЭВМ «Электроника-60» [10].

Базовая конфигурация СМ-4 дополнена накопителями на магнитной ленте ИЗОТ-5003 и на гибком диске СМ-5603. Оперативная память расширена до 124 Кслов.

Программное обеспечение комплекса базируется на дисковой операционной системе РАФОС, работающей в реальном масштабе времени.

Экспериментатору доступны стандартные пакеты программ, облегчающие выполнение различных математических операций: пакет программ численного анализа, пакет программ обработки данных методами математической статистики, пакет программ методов оптимизации, пакет программ обработки данных в системах автоматизации лабораторных экспериментов.

Для выполнения операций, связанных с обработкой изображений, разработан пакет программ, в который входят программы ввода оптических полей, обработки и вывода результатов в удобной для экспериментатора форме.

Эксплуатация системы показала, что подобная структура, состав и программное обеспечение удовлетворяют основным требованиям эксперимента в области когерентной оптики.

В состав вычислительного комплекса на базе микро-ЭВМ входят процессор «Электроника-60», оперативная память 28 Кслов, устройство внешней памяти на гибком магнитном диске СМ-5603, видеотерминал ВТА-2000-2, мозаичное последовательное устройство печати DZM-180 и перфоленточное устройство ввода FS-1501.

Основные технические проблемы при создании комплекса были связаны с разработкой блоков сопряжения внешних устройств с ЭВМ: блока сопряжения с накопителем на гибком магнитном диске, с устройством последовательной печати и видеотерминалом. Перечисленные блоки разработаны в соответствии с требованиями к стандартным интерфейсным блокам и позволяют согласовать особенности работы каждого из устройств с работой унифицированного канала ОИШ. Конструктивно вычислительный комплекс выполнен в стандартной стойке АСВТ-М.

Базовым программным обеспечением, как и у комплекса на СМ-4, служит операционная система РАФОС.

С помощью специально разработанного блока сопряжения, позволяющего передавать информацию параллельным 16-разрядным кодом, к микро-ЭВМ подключено электромеханическое устройство ввода.

Устройство ввода на базе точечного диссектора подключено к ЭВМ СМ-4. Будучи удалены друг от друга обе системы связаны с помощью накопителей на гибких магнитных дисках, так что информация, введенная в ЭВМ с помощью электромеханического устройства ввода, может обрабатываться на СМ-4 и наоборот.

В качестве устройств вывода, сопряженных с мини-ЭВМ СМ-4, используются графопостроитель рулонного типа АП-7262 и устройство микрофильмирования «Карат» [12, 13].

С помощью разработанных систем решался ряд задач по исследованию напряженно-деформированного состояния объекта при статических и динамических нагрузках, по определению параметров рельефа сложных поверхностей и параметров шероховатости исследуемых поверхностей, по определению зависимости контраста интерференционных полос от параметров шероховатости и характера нагружения, по нахождению зоны поврежденности в окрестности трещины и т. п. Опыт эксплуатации систем показал, что они позволяют эффективно решать как задачи обработки новых методик обработки и расшифровки когерентно-оптических изображений, так и практические задачи экспериментальной механики.

Совершенствование систем автоматизации прочностных исследований на основе методов когерентной оптики и голографии связано, по нашему мнению, с совершенствованием методов автоматической обработки и расшифровки голографических интерферограмм; с улучшением метрологических характеристик как интерферометров, так и систем в целом; с развитием аппаратного обеспечения и в первую очередь устройств ввода оптической информации и спецвычислителей, ориентированных на работу с двумерными массивами; с привлечением численных методов расчета напряженно-деформированного состояния объектов, что позволяет повысить достоверность получаемых результатов и упростить процесс получения информации; с разработкой более совершенного программного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Де С. Т., Козачок А. Г., Логинов А. В., Солодкин Ю. Н. Голографическая система для получения, обработки и расшифровки интерферограмм.— Квант. электроника, 1977, т. 4, № 1.
2. Де С. Т., Козачок А. Г., Логинов А. В., Солодкин Ю. Н. Голографический интерферометр с минимальной погрешностью измерения смещений и деформаций.— В кн.: Голографические измерительные системы. Новосибирск: изд. НЭТИ, 1978.
3. Де С. Т., Ким В. Ф., Козачок А. Г., Логинов А. В. Анализ схем регистрации двухдлинноволновых топографических изображений.— В кн.: Голографические измерительные системы. Новосибирск: изд. НЭТИ, 1978.
4. Натальченко В. В. Автоматическое устройство экспонирования голограмм.— Там же.

5. Малеев Н. М., Павликов А. И. Стабилизация мощности ионного газового ОКГ.— Там же.
6. Нестерихин Ю. Е., Пушной Б. М. О системе автоматической обработки изображений.— Автометрия, 1977, № 3.
7. Бурый Л. В. и др. Автоматизированный комплекс обработки изображений.— Автометрия, 1980, № 3.
8. Васьков С. Т. и др. Прецизионная система ввода-вывода изображений для ЭВМ.— Автометрия, 1977, № 2.
9. Гурьев Л. П., Кунов В. М., Нечаев В. Г. Устройство ввода голографических интерферограмм в ЭВМ.— В кн.: Голографические измерительные системы. Новосибирск: изд. НЭТИ, 1976.
10. Де С. Т., Козачок А. Г., Логинова Н. А., Натальченко В. В. Измерительная система для исследования статистических характеристик яркости изображений.— В кн.: Голографические измерительные системы. Новосибирск: изд. НЭТИ, 1980.
11. Гурьев Л. П., Нечаев В. Г. Об использовании диссектора и ПЭС-матриц в устройствах ввода изображений в ЭВМ.— В кн.: Голографические измерительные системы. Новосибирск: изд. НЭТИ, 1978.
12. Техническое описание устройства микрофильмирования «Карат».— Новосибирск: изд. СКБ НИИ СО АН СССР, 1976.
13. Гужов В. И., Дружинин А. И. Программно-аппаратный комплекс сопряжения устройства микрофильмирования «Карат» с ЭВМ в голографической измерительной системе.— В кн.: Голографические измерительные системы. Новосибирск: изд. НЭТИ, 1980.

Поступила в редакцию 8 января 1982 г.