

максимум автокорреляционной функции. Благодаря вращению распознаваемого объекта в случае автокорреляционной функции на выходе системы получается электрический сигнал, во много раз больший, чем в случае взаимной корреляционной функции. Это значительно облегчает выделение сигнала. Представленная система накладывает ограничения на число распознаваемых изображений, так как фотодетектор регистрирует зависимость

$$\left| \sum_{i=1}^{k-1} f_k(\theta_k) * f_i^*(\theta_i) + f_k(\theta_k) * f_k^*(\theta_k) + \sum_{k+1}^n f_k(\theta_k) * f_i^*(\theta_i) \right|^2.$$

По предлагаемому методу можно построить инвариантное к повороту (масштабу) устройство с параллельным способом сравнения. Регистрация операторов линз в каждом месте матрицы исключает линзу, необходимую для создания оператора обратного Фурье-преобразования и получения корреляционной функции на выходе когерентного оптического устройства.

Поступила в редакцию 7 марта 1973 г.

УДК 681.327

Л. А. ДУШИН, В. И. ПРИВЕЗЕНЦЕВ,  
В. С. ТАРАН, В. А. ЯМНИЦКИЙ  
(Харьков)

## ДВУХГРАДАЦИОННАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОГРАММ ПЛАЗМЫ НА ЭВМ

Интерферометрические исследования плазмы в газовых разрядах требуют огромного труда, связанного с обработкой полученных фотографий. Известные способы обмера фотоснимков (измерение сдвига интерференционных полос) ручным способом и на полуавтоматических просмотрно-цифровальных столах имеют ряд недостатков, связанных главным образом с участием оператора. Следствием этого является низкая производительность, малая точность измерения и др.

Вопросам автоматизации интерферометрических измерений посвящено еще очень мало работ, и все они основаны на применении фототелеграфного аппарата и ЭВМ «Минск-22» [1—4]. В данной работе описывается система автоматической обработки, использующая ЭВМ «М-220А» и графикопостроитель АПГ на шаговых двигателях [5], представляющий собой в этом случае измерительное устройство.

Целью оптической интерферометрии плазмы является построение пространственно-временного распределения, которое находится по измерению сдвига интерференционных полос, вызванного изменением коэффициента преломления плазмы  $n = 1 - 4,5 \cdot 10^{-14} \lambda^2 N$  ( $\lambda$  — длина волны).

Измеряемый сдвиг полос, вызванный изменением коэффициента преломления на длине  $L$ , равен

$$\Delta l = \frac{L}{\lambda} (1 - n) S,$$

где  $\Delta l$  — смещение полосы;  $S$  — расстояние между полосами.

В данной работе использовался интерферометр Маха — Цендери с гелий-неоновым лазерным осветителем. Регистрация интерференци-

онного поля осуществлялась на скоростном фоторегистраторе (СФР). Исследовался разряд с полым катодом в водороде.

Синхронизация работы СФР с разрядом осуществлялась с помощью механического затвора, который открывался на время, большее, чем длительность разряда, но меньшее, чем период вращения зеркала СФР. Измерение тока и объема разряда позволили оценить степень ионизации, которая составила величину порядка 10%. При такой степени ионизации вкладом нейтралов в значение показателя преломления можно пренебречь и учитывать только вклад электронов. Полученные характерные сдвиги интерференционных полос показаны на рис. 1.

Для получения пространственного распределения необходимо измерить сдвиг интерференционных полос по вертикали фотоснимка, т. е. в заданный момент времени. Для получения временной зависимости изменения плотности полученный фотоснимок нужно просканировать через заданные интервалы времени. Следовательно, объем снимаемой информации достаточно большой и возможность получения полной зависимости  $N(d, t)$  может быть ограничена объемом оперативной памяти ЭВМ.

Разработка системы автоматической обработки была проведена при учете следующих факторов:

1) при высоком качестве фотоинтерферограмм положение максимумов интерференционных полос может быть с достаточной точностью определено двухуровневой измерительной системой;

2) использование АПГ, подключенного к М-220А, позволяет не сложно осуществить как растровое сканирование произвольного характера, так и работу в режиме «слежения» за характерными образованиями плазменного объекта;

3) необходимо полное управление от ЭВМ;

4) допустимо не очень высокое быстродействие измерительной системы, поскольку основные затраты времени ЭВМ относятся не к процессу измерений, а к процессу обчета задачи;

5) возможно вмешательство оператора на различных стадиях обработки интерферограмм, благодаря наличию в комплекте оборудования М-220А осциллографа со световым карандашом (ОСК) [6];

6) возможно гибкое программное обеспечение с помощью алгоритмического языка высокого уровня (АЛГОЛ-60, транслятор ГА-1М [7]).

Устройство для ввода информации в ЭВМ состояло из графико-построителя (АПГ) с кронштейном, проектора (П), фотоумножителя, установленного на каретке АПГ, дискриминатора (Д) и выходного уси-

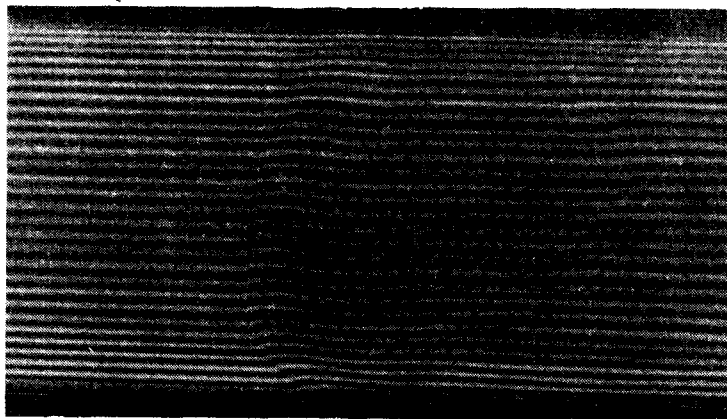


Рис. 1.

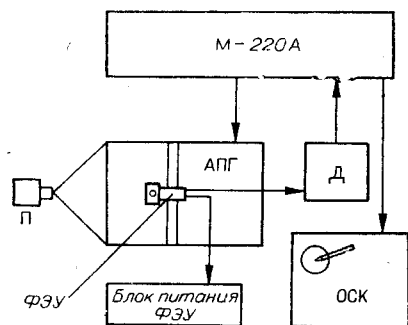


Рис. 2.

лителя с сигнализацией. Блок-схема автоматической системы приведена на рис. 2.

Интерферограмма проецировалась на рабочую поверхность АПГ с увеличением в 10—15 раз. Каретка АПГ с фотоумножителем связана с отсчетной системой, фиксирующей ее передвижение в прямоугольных координатах с шагом 0,5 мм. Световой поток, пропорциональный яркости интерференционной картины, попадал на ФЭУ через отверстие диаметром 1,5 мм. Сигнал от ФЭУ поступал в дискриминатор.

Программой было предусмотрено автоматическое сканирующее движение каретки перпендикулярно интерференционным полосам. Размер раstra и шаг квантования мог выбираться по желанию оператора.

Несмотря на простоту, система показала при испытании хорошие результаты: точность измерения до 1/10 ширины интерференционной полосы. Время полной обработки одной интерферограммы около 15 мин, из них измерение 5 мин, фильтрация информации 5 мин, обсчет с выдачей данных также 5 мин.

Программное обеспечение выполнено полностью на языке АЛГОЛ-60 и состоит из трех частей — программ сканирования, фильтрации, обработки.

Программа сканирования осуществляет управление АПГ с целью получения прямоугольного раstra, причем полезными являются и прямой, и обратный ход каретки АПГ. На каждом шаге каретки (0,5 в плоскости измерения, или 40 мкм в плоскости пленки) производится опрос дискриминатора, и в случае обнаружения изменения его состояния в память ЭВМ заносится координата полосы, вычисленная как среднее между передним и задним фронтами видеосигнала.

Фильтрация информации начинается уже в процессе сканирования: полосы шириной менее заранее заданной (обычно 1 мм в плоскости измерения) исключаются из массива.

Окончательная фильтрация происходит с участием оператора (через ОСК).

Типичный вид измеренной интерферограммы приведен на рис. 3, а (фотография с экрана ОСК). Правый верхний угол — зона засветки интерферограммы светом плазмы. Видны также пропуски линий и другие дефекты (типа «дислокаций»). Оператор может исключить часть картины, вычестить из массивов отдельные точки, дополнить недостающие

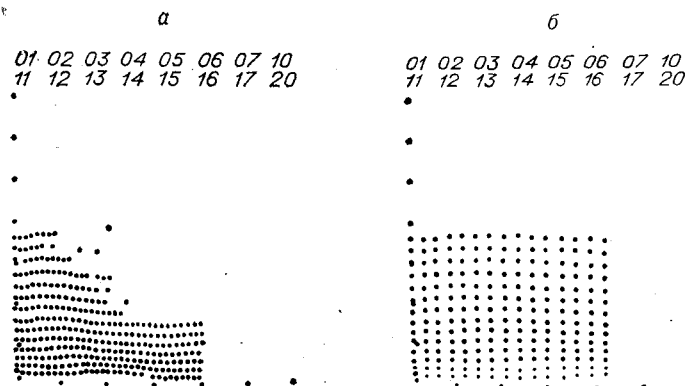


Рис. 3.

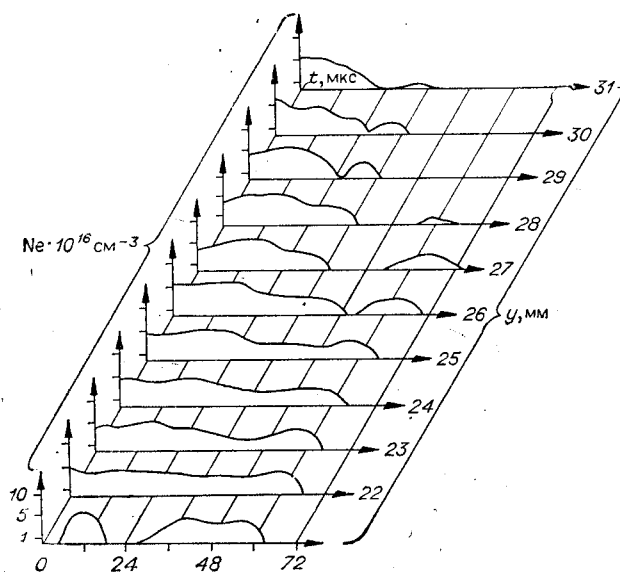


Рис. 4.

и т. д. В результате получается упорядоченная картина (см. рис. 3, б), отражающая истинное расположение интерференционных полос.

Невозмущенное положение полосы определяется по первому и последнему скачкам, которые должны быть измерены в невозмущенной области. Неравномерность интерференционных полос учитывалась при обработке путем перевода величины сдвига в относительные единицы, отнесенные к расстоянию между полосами.

Результат, представляющий из себя диаграмму изменения интегральной плотности в поперечном сечении разряда во времени, выдается на графопостроитель.

На рис. 4 показаны различные стадии изменения плотности плазмы при развитии разряда в полой катод при давлении  $1333,22 \text{ Н/м}^2$ .

Приведенный пример показывает, что применение такой автоматической системы может дать достаточно точные данные о пространственном распределении плотности. Повышение точности измерения во времени может быть достигнуто увеличением скорости фоторегистрации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. Н. Бурдонский, В. С. Вайнштейн и др. [б. н.].— Тезисы III Всесоюзного совещания по диагностике высокотемпературной плазмы. Сухуми, 1970.
2. В. С. Вайнштейн, М. П. Гришин и др. Автоматическая обработка оптической информации с применением ЭЦВМ.— Измерительная техника, 1970, № 10.
3. И. Н. Бурдонский, М. П. Гришин и др. Обработка оптических интерферограмм на ЭВМ.— Автометрия, 1971, № 4.
4. М. П. Гришин, Ш. М. Курбанов и др. Комплекс аппаратуры для автоматического ввода—вывода экспериментальной полутоновой информации в ЭВМ «Минск-22».— Автометрия, 1971, № 4.
5. В. А. Ямницкий, А. Ф. Макаров и др. Автоматическое измерение выхода реакций на электростатическом ускорителе Физико-технического института АН УССР.— УФЖ, 1967, № 12.
6. А. Ф. Макаров, В. В. Рябка и др. Вывод данных из ЭВМ М-220 и «Днепр-21» на осциллограф со световым карандашом.— Вопросы атомной науки и техники. Серия «Автоматизация физического эксперимента и его матобеспечение». Препринт ХФТИ 72—3. Харьков, 1971.
7. Справочный материал по транслятору ТА-1М. М., 1969.

Поступила в редакцию 22 января 1973 г.