

Е. Ю. Арефьев, И. Д. Багбая, К. В. Овчинников,  
С. Б. Попов, И. Н. Сисакян, В. А. Соффер

## ОПЫТЫ ПО РЕКОНСТРУКТИВНОЙ ТОМОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

### ЗАДАЧА РЕКОНСТРУКТИВНОЙ ТОМОГРАФИИ

Задача восстановления изображений по проекциям (реконструктивной томографии) ставится в различных областях науки и техники в тех случаях, когда необходимо получить сведения о внутреннем строении объекта, а физические методы исследования могут предоставить лишь интегральные характеристики объекта. Диапазон таких объектов широк, однако наибольшее развитие реконструктивная томография (РТ) получила в медицинской диагностике.

Аналогичные задачи имеют место и в области дефектоскопии промышленных изделий или диагностики плазмы. Для промышленной дефектоскопии во многом применимы технические решения и аппаратура, используемая в медицинской рентгеноматомографии. Однако ряд факторов, в том числе и высокая стоимость медицинских томографов, не позволяет использовать их в промышленности и в физическом эксперименте.

Авторами сделана попытка реализовать процесс РТ на базе созданной в КуАИ автоматизированной системы обработки изображений.

Автоматизированная система обработки изображений (АСОИз) представляет собой комплекс технических и программных средств, предназначенных для ввода, хранения, цифровой обработки и визуализации изображений, получения их параметров.

АСОИз создана на базе ЭВМ СМ-4 [1] с емкостью оперативной памяти 128 кслов, внешними запоминающими устройствами на магнитных дисках общей емкостью не менее 7 Мбайт и на магнитных лентах.

К ЭВМ СМ-4 подключен крейт КАМАК, содержащий модуль цифрового преобразователя видеосигнала и цифрового формирователя видеосигнала, модуль связи с графопостроителем. Эти модули, выполненные в стандарте КАМАК, обеспечивают ввод изображений с TV-камеры, визуализацию изображений и другой графической информации на телевизионном мониторе или графопостроителе [2].

Программное обеспечение (ПО) системы состоит из пакета прикладных программ обработки изображений (далее ППП IPS) [3], работающего в операционной системе RSX-11M (есть версия пакета для ОС RT-11). В состав пакета, кроме программ сервиса и обработки, включена библиотека объектных модулей, предназначенная для тех пользователей, которые желают дополнить ПО собственными прикладными программами.

Все программы пакета, в том числе и разработанные пользователями, работают со специально созданным "рабочим" файлом. Информация в нем хранится в виде полей [4]. Поле является массивом данных, имеющим определенный смысл и общие параметры. Поле может быть изображением, то есть прямоугольная матрица отсчетов функции двух переменных; график функции одной переменной; набор любых сечений изображения, например радиальных. Поле состоит из заголовка и блоков данных (в общем случае блок является прямоугольной матрицей). Заголовок поля содержит информацию относительно количества, расположения и размеров блоков, формата представления данных в блоке и др. Поле — это та единица данных, с которой работают все программы пакета.

### АЛГОРИТМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ПРОЕКЦИЯМ

Для реконструкции изображений по проекциям авторами выбран известный алгоритм свертки и обратной проекции [5].

Как известно, проекция  $P$ , взятая под углом  $\Theta$ , определяется следующим образом:

$$P_{\Theta}(t) = \int f(x, y) dl, \quad (1)$$

где  $f(x, y)$  — функция, описывающая исходное изображение,

$t$  — координата вдоль проекции,

$l$  — прямая, вдоль которой идет интегрирование.

Как правило, в большей части реальных способов получения проекций удается достичь соотношения (1) или привести данные к его выполнению.

Координаты  $x, y, l, t$  связаны соотношением

$$\begin{aligned} t &= x \cdot \cos \Theta + y \cdot \sin \Theta \\ l &= -y \cdot \cos \Theta + x \cdot \sin \Theta, \end{aligned} \quad (2)$$

Восстановление изображения производится следующим образом:

$$\hat{f}(x, y) = \int_0^{2\pi} d\Theta \int_{-\infty}^{\infty} P(t, \Theta) G(l-t) dt, \quad (3)$$

где  $\hat{f}(x, y)$  — оценка восстановленной функции,  $P(t, \Theta)$  — проекции,  $G(t)$  — ядро свертки.

Так как в АСОИз данные представлены в дискретной форме, число проекций ограничено, а размеры объекта конечны, то используется дискретная форма (3)

$$f_{ij} = \frac{1}{4\pi^2} \sum_{k=0}^{M-1} (\Delta\Theta \sum_{l=0}^{N-1} P(l, \Theta) \cdot G(l-i) \cdot \Delta l). \quad (4)$$

Здесь  $M$  – число проекций,  $N$  – число точек разбиения вдоль проекции. В качестве ядра свертки  $G$  выбрано так называемое ядро Шеппа-Логана [6]

$$G_l = 1/(1 - 4 \cdot i^2). \quad (5)$$

### ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО НАБОРУ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ

В качестве объекта исследования рассмотрена сборочная единица, содержащая большое число внутренних плоскостей (каналов). Типичным дефектом, возникающим при изготовлении, является частичное заполнение канала припоем и сужение просвета. Задачей дефектоскопии в этом случае является отбраковка изделий по площади и форме просвета.

Для получения проекций использовалась обычная методика рентгенографии, употребляемая в дефектоскопии. Изготавливалось 9 снимков дефектного шеста изделия в различных ракурсах с шагом поворота  $20^\circ$ . Полученные рентгенограммы оцифровывались средствами АСОИЗ и записывались на магнитный диск в виде полей размером  $64 \times 128$  элементов. Посредством разработанной в рамках ППП IPS программы подготовки данных формируется новое поле размером  $9 \times 128$ , содержащее 9 линейных проекций одного сечения изделия. В процессе подготовки проекции проходят геометрические преобразования, фильтрацию и нормирование.

Программа томографической реконструкции по полученным проекциям восстанавливает изображение сечения объекта. Результатом работы программы является поле размером  $128 \times 128$ . В процессе работы АСОИЗ текущая визуализация изображений производится с помощью полутонового дисплея. На рис. 1 приведена фо-

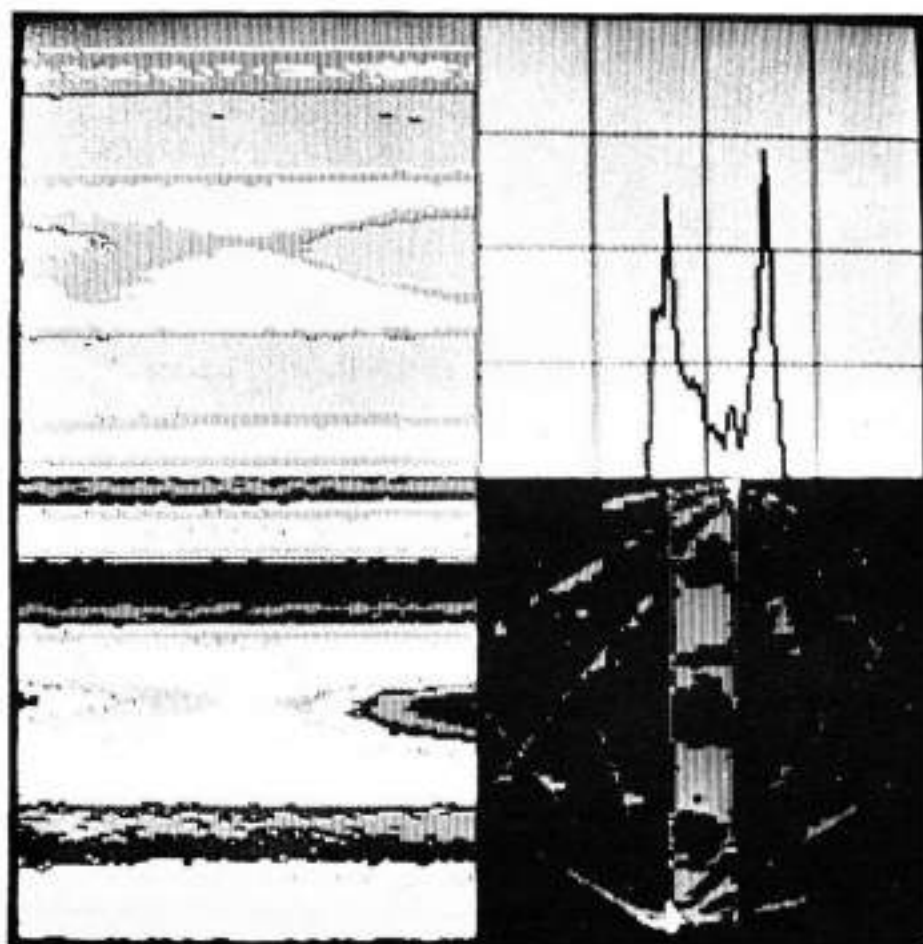


Рис. 1

тография с экрана дисплея, где представлены одна из проекций, введенная в ЭВМ, та же проекция, но отфильтрованная и нормированная средствами ППП IPS, гистограммы, характеризующие проекцию и одно из реконструированных сечений. На рис. 2 приведено сечение, соответствующее стрелкам на рис. 1. В связи с малым числом проекций по краям изображения возникает значительное количество артефактов, однако наиболее информативная центральная часть сечения восстановлена точно. Отчетливо виден двойной просвет в центральном канале. Произведена оценка площади просветов: больший – около  $5 \text{ мм}^2$ , меньший – около  $1,5 \text{ мм}^2$ . (Масштаб рисунка отличается от действительных размеров изделия.)

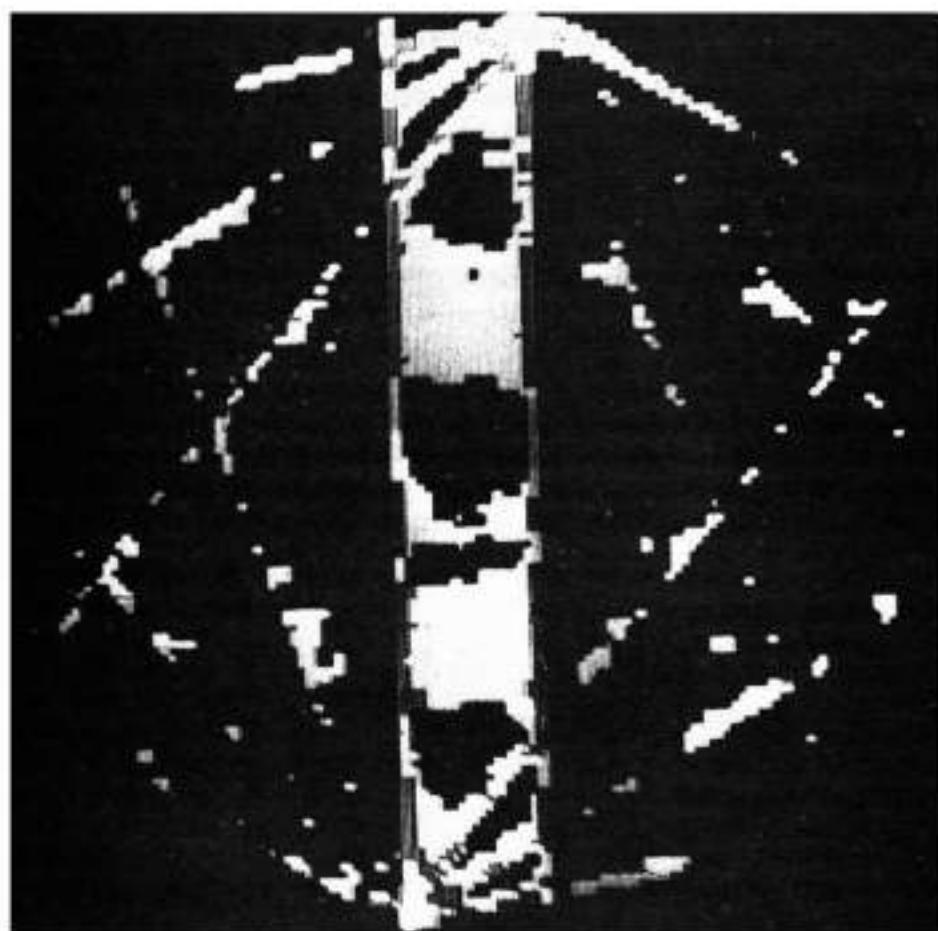


Рис. 2

#### ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКОНСТРУКТИВНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ

В работе [7] описаны эксперименты по использованию РТ для эмиссионной диагностики плазмы. В работе [8] описывается определение локальных характеристик плазмы по показателю преломления с помощью оптического томографа. Локальное значение показателя преломления несет информацию о температуре плазмы, значениях концентрации электронов и т. п. [9].

Для определения локальных характеристик плазмы предполагается использовать интерферограммы плазмы, полученные под различными углами. В составе ППП IPS имеются программы, позволяющие производить пересчет от интерферограмм к значениям оптической толщины фазового объекта. При незначительных градиентах показателя преломления эти данные можно использовать в качестве исходных для программы томографической реконструкции и получить локальное распределение показателя преломления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арефьев Е.Ю., Васин А.Г., Сергеев В.В., Соيفер В.А. Автоматизированная система обработки изображений на базе СМ ЭВМ. — В кн.: Тез. докл. 19-й школы по автоматизации научных исследований. — Новосибирск, 1985, с. 160–161.
2. Арефьев Е.Ю., Тихонов Д.Н. Технические средства автоматизированной системы обработки видеoinформации. — В кн.: Тез. докл. Второго всесоюзного симпозиума по вычислительной томографии. — Куйбышев, КуАИ, 1985, с. 13.
3. Голуб М.А., Карлесов С.В., Михайлов С.В. и др. Пакет прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии. — Гос. фонд алгоритмов и программ СССР № 11004582 от 01.09.80.
4. Виттих В.А., Сергеев В.В., Соифер В.А. Обработка изображений в автоматизированных системах научных исследований. — М.: Наука, 1982. — 214 с.
5. Хермен Г. Восстановление изображений по проекциям: основы реконструктивной томографии. /Пер. с англ. — М.: Мир, 1983. — 352 с.
6. Хори Б. Восстановление внутренней структуры объектов с помощью различных схем многолучевого просвечивания. — ТИИЭР, т. 66, 1978, № 5, с. 27.
7. Мельникова Т.С., Пикалов В.В. Исследование параметров электрической дуги с помощью плазменного томографа: Препринт 99–83. — Новосибирск: Институт теплофизики СО АН СССР.
8. Вишняков Г.Н., Левин Г.Г. Оптика и спектроскопия, 1962, т. 53, вып. 5, с. 929–932.
9. Методы исследования плазмы/Под ред. В. Лохте-Хольтгревена. — М.: Мир, 1971, с. 148–159.