

Создание в будущем распределенных томографических систем, в частности использующих малоранурный подход в томографии, будет способствовать широкому внедрению томографических методов в практику научных исследований и появлению новых методов неразрушающего контроля для промышленного контроля.

### Библиографический список

1. Корж В.И., Кусков В.Е., Стенин В.Я. Детекторы рентгеновского излучения на приборах с зарядовой связью// ПТЭ, 1982. № 3. С.7-19.
2. Вавилов В.С. Действие излучения на полупроводники. М.:Физматгиз, 1963.
3. Пратт У. Цифровая обработка изображений. М.: Мир, 1982.792 с.
4. Link R. et al. World Conference on Nondestructive Testing (11; 1985; Columbus). Proceedings. v.1, pp. 688 ... 692.

УДК 615.471:681.397

В.Ф.Явцев

### **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ**

Рассматриваются перспективы создания устройств неразрушающего контроля газонефтепроводов на основе методов радиационной вычислительной томографии, а также возможность создания томографических систем на основе радиографии. Приводится описание разработанных устройств и алгоритмов малоранурной вычислительной томографии.

При прокладке и эксплуатации различного рода газо- и нефтепроводов возникает важная задача неразрушающего контроля (НК) сварных соединений труб, так как именно сварные швы являются наиболее вероятным источником возникновения технологических и усталостных дефектов, ко-

---

Вычислительная томография. Куйбышев, 1990

---

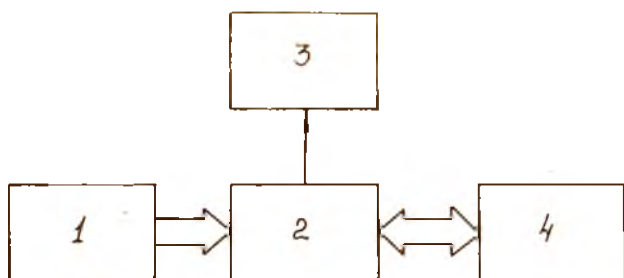
торые в дальнейшем могут привести к аварийной ситуации. Для этих целей широко эксплуатируются различные устройства НК, созданные на основе радиационных, ультразвуковых, вихрековых, магнитных методов. Однако практически всем используемым методам свойственны вполне определенные границы применимости, за пределами которых их эффективность резко снижается. Поэтому, как правило, применяют комплексный НК, при котором передвижные дефектоскопические лаборатории оснащаются устройствами контроля различных типов, позволяющими перекрыть весь возможный диапазон выявляемых дефектов в изделиях различной толщины и конфигурации [1].

Наиболее широкое распространение, благодаря своей универсальности, получили радиационные методы. Однако существенным недостатком их является ограниченная выявляемость произвольно ориентированных трещин при больших углах между плоскостью раскрытия трещины и направлением просвечивания. Одним из перспективных способов повышения эффективности радиационной диагностики является использование методов вычислительной томографии (ВТ), позволяющих в десятки раз увеличить чувствительность радиационного НК [2]. Уникальные возможности ВТ сопряжены с высокой сложностью и стоимостью применяемого оборудования, предназначенного в основном для работы в стационарных условиях. Поэтому, внедрение томографических методов в диагностику сварных швов магистральных трубопроводов сдерживает специфика данного объекта контроля: работа в полевых условиях, значительный диаметр и протяженность трубопровода. В связи с этим представляется перспективной разработка методов и средств ВТ для диагностики сварных соединений газо- и нефтепроводов на базе существующей аппаратуры неразрушающего контроля.

Среди радиационных методов самым распространенным остается радиографический благодаря своей простоте, высокой чувствительности, возможности документального подтверждения результатов контроля. Проведенные автором исследования [3,4] показали практическую возможность создания томографических систем на основе радиографии. Разработан ряд устройств, предназначенных для автоматизированной дешифровки получаемых рентгенограмм, и созданы соответствующие алгоритмы реконструкции изображений по малому числу проекций в ограниченных углах конвергенции [5,6].

Радиографическая томографическая система контроля газо- и нефтепроводов, предназначенная для работы в составе передвижной дефектоскопической лаборатории, содержит малогабаритное переносное устройст-

во дешифровки рентгеновских снимков [7], устройство ввода-вывода, видеомонитор и вычислительное устройство на базе персональной ЭВМ (рис.1).

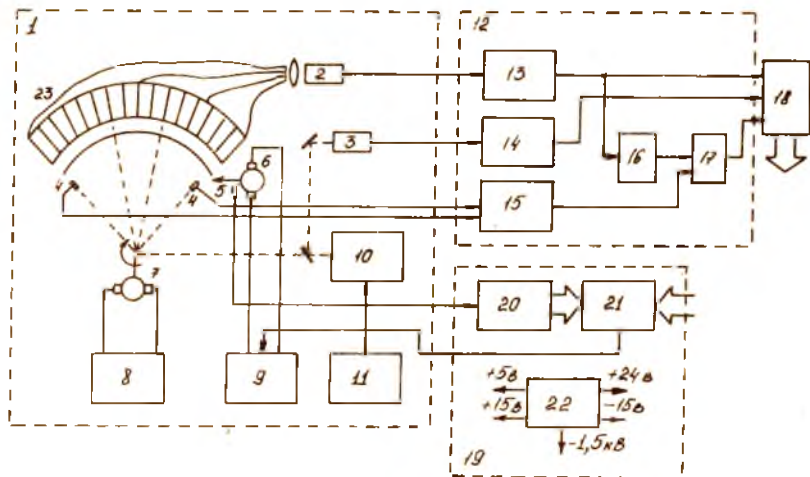


Р и с. 1. Состав радиографической томографической системы: 1 - устройство дешифровки рентгеновских снимков; 2 - устройство ввода - вывода (УВВ); 3 - видеомонитор (УВВ); 4 - персональная ЭВМ

Устройство дешифровки предназначено для преобразования информации о распределении оптической плотности почернения рентгеновского снимка в электрические сигналы. Его основой является лазерное оптико-механическое сканирующее устройство, которое осуществляет автоматическое измерение оптической плотности пленки путем сканирования ее сфокусированным лазерным излучением (рис.2). Для работы в полевых условиях сканирующее устройство оснащается волоконно-оптической системой сбора измерительных лазерных лучей, позволяющей существенно снизить габариты и повысить надежность всего устройства. Система сбора лучей включает в себя волоконно-оптический преобразователь, входное окно которого имеет форму цилиндрической поверхности, и который устанавливается над измерительной целью так, что на него попадает все прошедшее через снимок лазерное излучение. Выходное окно преобразователя имеет форму компактного пакета, с которого световой поток через объектив проецируется на измерительный фотоэлектронный умножитель.

Устройство ввода-вывода (УВВ) представляет собой модуль расширения персональной ЭВМ, обеспечивающий выполнение двух основных функций:

ввод данных от устройства дешифровки рентгеновских снимков в режиме прямого доступа к памяти ЭВМ;



Р и с. 2. Функциональная схема устройства дешифровки рентгеновских снимков: 1 - сканирующее устройство; 2 - измерительный ФЗУ; 3 - опорный ФЗУ; 4 - датчики считывания; 5 - датчик сечений; 6 - привод верхней платформы; 7 - привод сканирующего зеркала; 8 - стабилизатор частоты вращения сканирующего зеркала; 9 - стабилизатор привода платформы; 10 - гелий-неоновый лазер; 11 - блок питания лазера; 12 - блок предварительного усиления; 13 - фотоусилитель измерительный; 14 - фотоусилитель опорный; 15 - формирователь строка; 16 - дифференцирующая схема; 17 - схема совпадения; 18 - измерительный блок; 19 - блок управления; 20 - счетчик сечений; 21 - схема совпадения; 22 - блок питания; 23 - волоконно-оптический преобразователь

вывод результатов из памяти ЭВМ на черно-белый или цветной видеомонитор.

В качестве вычислительного устройства могут использоваться персональные ЭВМ типа I BM PC, EC-1840/1841, "Искра-1030". Пакет прикладных программ "IMAGE - PC", разработанный для данного комплекса, предназначен для обслуживания всех операций ввода-вывода данных и для томографической обработки информации. Программы обработки обеспечивают выбор из массива входных данных последовательности проекций одного сечения под разными ракурсами просвечивания, первичную обработку проекций и томографическую реконструкцию исследуемого сечения шва с помощью малоракурсного алгоритма свертки и обратного проецирования [5], спо-

собного восстанавливать изображения по 6-9 проекциям в пределах угла конвергенции  $90-120^{\circ}$  при формате расчетной матрицы изображения  $128 \times 128$  элементов. Процедура обратного проецирования в этом алгоритме имеет некоторые отличия, связанные с особенностями объекта контроля. Дело в том, что характерной чертой неразрушающего контроля сварных соединений является выявление, определение местоположения и конфигурации дефектов, которые несут обычно локальный характер (газовые поры, включения, трещины и т.п.). При томографическом подходе к решению задачи диагностики такого рода объектов учесть имеющуюся априорную информацию можно при помощи формирования "разностных" проекций. Этот способ заключается в том, что на этапе регистрации проекционных данных функцию проекции получают в виде

$$P_p(\ell, \varphi) = P_d(\ell, \varphi) - P_u(\ell, \varphi), \quad (I)$$

где  $P_p(\ell, \varphi)$  - "разностная" проекция, определяемая как разность между "дефектной"  $P_d(\ell, \varphi)$  и "идеальной"  $P_u(\ell, \varphi)$  проекциями одного сечения объекта под одним и тем же ракурсом.

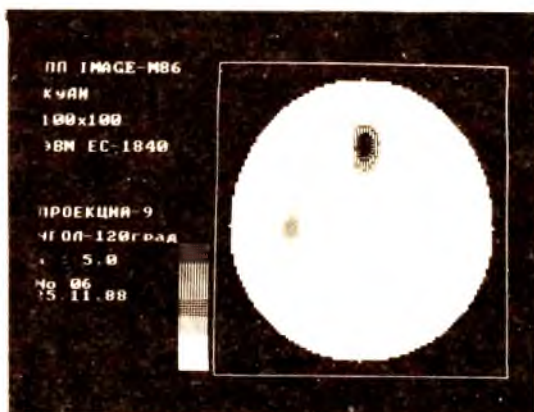
Под "идеальной" проекцией здесь понимается проекция сечения объекта, которая не содержит конструктивных или технологических отклонений от нормативов. Получение "идеальной" проекции обычно не вызывает затруднений, так как можно воспользоваться повторяемостью сечений по длине объекта контроля и сформировать усредненное значение проекции. Таким образом, "разностная" проекция будет содержать информацию только об имеющихся дефектах, а образующиеся в такой проекции нулевые участки можно использовать для очистки томограммы от артефактов [8]. Однако в вычислительном отношении более эффективным является учет этой информации в процедуре обратного проецирования [9, 10]. Первая же спроецированная на матрицу реконструкции проекция, имеющая нулевые участки, вырезает на изображении нулевые области, в которых априорно не содержится никакой полезной информации. Каждая последующая проекция будет расширять обнуляемые области изображения, обрезая ложные "хвосты" от информационных участков предыдущих проекций, и вносить вклад только в места расположения дефектов. Это позволяет построить процедуру обратного проецирования, так что элементы матрицы изображения, которые попали в обнуляемую область на шаге проецирования одной из проекций, в последующих операциях уже не участвуют. Проецирование следующих проекций будет носить все более локальный характер. Такая

процедура локального обратного проецирования выполняется значительно быстрее, кроме того, ее применение позволяет вообще отказаться от процедуры сверточной фильтрации проекций, что максимально увеличивает быстродействие всего алгоритма реконструкции. Использование разностной схемы формирования проекционных данных позволяет существенно уменьшить ошибки, связанные с полихроматичностью и рассеянием используемого излучения [2].

Программы обслуживания ввода-вывода кроме основной функции поддержки работы УВВ обеспечивают наличие следующих дополнительных режимов визуализации получаемых изображений:

режим панорамного обзора, при котором вводимая информация от устройства дешифровки рентгеновских снимков непосредственно отображается на экране черно-белого или цветного видеомонитора с возможностью масштабирования и контрастирования, что позволяет на теневом изображении сварного шва выделить зону интереса для последующей реконструкции;

режим экспресс-контроля, при котором реконструированное изображение выводится на видеомонитор УВВ и непосредственно на дисплей персональной ЭВМ (рис.3) с возможностью введения учетной информации и по-



Р и с. 3. Результат реконструкции изображения

лучения твердой копии результатов контроля на печатающем устройстве ПЭВМ.

## Библиографический список

1. Неразрушающие методы контроля сварных соединений/С.В.Румянцев, В.А.Добромыслов, О.И.Борисов, Н.Т.Азаров. М.: Машиностроение, 1976. 335 с.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий/Под ред. В.В.Клюева. М.:Машиностроение, 1986. Т.1. 488 с.
3. Явцев В.Ф. Методика малоракурсной томографической диагностики материалов и изделий //Реконструктивная томография/Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1987. С.127-131.
4. Явцев В.Ф., Панин В.В. Система томографической диагностики сварных соединений //Методы обработки и отображения информации в радиотехнических устройствах /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1985. С.103-107.
5. Явцев В.Ф. Пакет прикладных программ "IMAGE" для малоракурсной рентгеновской вычислительной томографии //Актуальные вопросы применения радиоэлектроники в медицине: Тез. докл. Всесоюз. науч. техн. конф. М.- Куйбышев, 1988. 60 с.
6. Филонин О.В., Явцев В.Ф. Методы малоракурсной вычислительной томографии в диагностике сварных соединений //Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 1989. № 2.
7. Явцев В.Ф., Матвеевко С.П. Томографическое устройство для промышленной радиографии изделий//Реконструктивная томография/Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1987, С.132-135.
8. Жданова Т.А., Пикалов В.В. Алгоритм априорного подавления тепловых артефактов томограмм //Линейные и нелинейные задачи вычислительной томографии. Новосибирск, 1985. С. 54-60.
9. Явцев В.Ф., Филонин О.В. Особенности малоракурсной томографической диагностики промышленных изделий с локальными неоднородностями //Тез. докл. IУ Всесоюз. симпозиума по вычислительной томографии. Ташкент, 1989. С. 178-179.
10. Пикалов В.В., Шарипова Н.В. Быстрые алгоритмы обнаружения трещин на основе нелинейного обратного проецирования //Тез. докл. IУ Всесоюз. симпозиума по вычислительной томографии. Ташкент, 1989. С. 152-153.