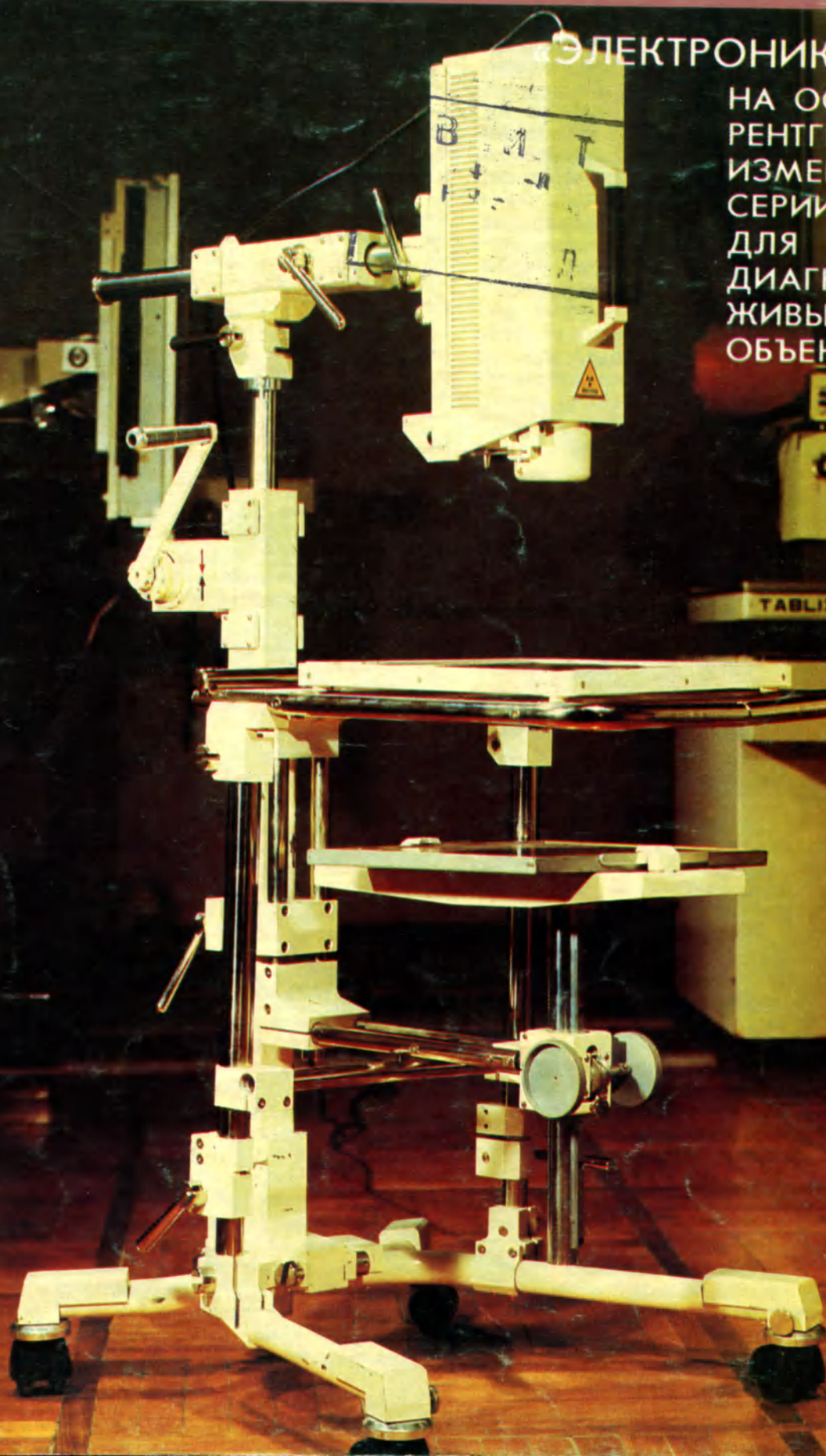




«ЭЛЕКТРОНИКА -100Д»

НА ОСНОВЕ
РЕНТГЕНОВСКИХ
ИЗМЕРИТЕЛЕЙ
СЕРИИ РЕИС
ДЛЯ
ДИАГНОСТИКИ
ЖИВЫХ
ОБЪЕКТОВ

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕНТГЕНО- ВИЗУАЛИЗИРУЮЩИХ СИСТЕМ

канд.техн.наук Н.В.Рабодзей

Развитие новых наукоемких технологий и производств изделий особой сложности требует создания систем и средств контроля физико-химической воспроизводимости и взаимозаменяемости функциональных элементов изделий во все меньших по размерам объемах, достигающих параметров решетки.

И если в создании систем автоматизированного видеоконтроля поверхностных характеристик изделий уже наметились пути и средства реализации [1, 2], то в создании систем автоматизированного видеоконтроля внутренних объемов изделий, да еще в микромасштабах, несмотря на наличие существенных заделов предстоит сделать очень много.

Некоторые вопросы развития рентгеновизуализирующих систем явились предметом Всесоюзной научно-практической конференции «РЕНТГЕН-1», посвященной рентгеновским телевизионным регистраторам и системам, состоявшейся в октябре 1990 г. в г. Нальчике.

Первой и наиболее развитой областью является рентгенодефектоскопия промышленных изделий. Почти все основные успехи в развитии рентгеновизуализирующих систем и их широкого применения можно отнести к решению проблем прочности и надежности путем обнаружения в изделиях множества скрытых, влияющих на надежность, дефектов (в сварных и паяных соединениях, в отливках, в сложных конструкциях и др.).

Долгое время основным методом дефектоскопии была радиография на рентгеновскую пленку. По мере роста потребности в высокопроизводительном контроле начали появляться различные флуороскопические системы, вначале с прямым зрительным наблюдением изображения на флуороскопическом экране, затем с использованием замкнутых телевизионных систем, работающих на чувствительных телевизионных передающих трубках оптического диапазона, передающих изображение с того же рентгенофлуороскопического экрана. После появления рентгеночувствительных электронно-оптических преобразователей с усилением яркости более чем в 1000 раз, обладавших к тому же малой инерционностью преобразования, они стали широко применяться в динамической рентгенодефектоскопии ответственных изделий и в еще большей степени — в медицинской рентгенодиагностике.

Дальнейший прогресс в рентгенодефектоскопии достигнут после разработки рент-

геночувствительных видиконов — передающих трубок с фотопроводниковой мишенью, чувствительной к рентгеновскому излучению, с разрешающей способностью свыше 20 пар линий на мм.

Медицинская рентгенодиагностика стала второй областью применения рентгеновизуализирующих систем. Необходимость глубокого исследования динамических процессов в организме человека привели к видеозаписи быстропротекающих процессов (например, при ангиографии головного мозга). Видеозапись частично решила одну из важнейших проблем анализа динамических процессов внутри непрозрачных объектов — согласование скорости отображения информации на экране видеоконтрольного устройства со скоростью восприятия этой информации зрительным аппаратом врача-рентгенолога.

Требования медицинской рентгенодиагностики значительно продвинули решение и других проблем создания высокоэффективных рентгеновизуализирующих систем. К ним относятся снижение дозы облучения пациента рентгеновским излучением и, соответственно, повышение пороговой чувствительности преобразователя рентгеновского изображения до теоретического значения, ограничиваемого флуктуациями потока рентгеновских квантов.

Третья область — дифракционная рентгеновская топография структурных дефектов в монокристаллических материалах, возникла в связи с потребностями микроэлектроники в оперативном и микроскопическом контроле дефектов пластин монокристаллических материалов сравнительно больших диаметров (до 150 мм). Здесь ясно проявляется известная проблема обнаружения: необходимо поднять на три порядка либо чувствительность существующих рентгеновизуализирующих систем при существующих мощностях источников рентгеновского излучения, либо мощность источников рентгеновского излучения при чувствительности существующих рентгеновизуализирующих приемников. Последнее было предпринято в Японии, где с источником рентгеновского излучения мощностью 60 кВт получены и зарегистрированы динамические картины движения дислокаций в монокристаллах. Известным решением проблемы мощного источника является использование для дифракционной топографии синхротронного излучения.

Четвертая, быстро развивающаяся область рентгеновизуализации — компьютерной рентгеновской томографии нашла применение сначала в медицине, а затем в дефектоско-



Рабодзей Николай Васильевич, канд. техн. наук, окончил Северокавказский горно-металлургический институт в 1950 г. Главный конструктор (разработчик) рентгенотелевизионных микроскопов серии МТР и фотоакустического микроскопа ФМ-3М. Автор 90 печатных работ, 18 изобретений и 32 зарубежных патентов. Основные направления разработок — неразрушающие методы и аппаратура диагностики качества и надежности ИЭТ.

пии. Она заключается в преобразовании с помощью ЭВМ информации о проекциях при круговом просвечивании исследуемого объекта в информацию, позволяющую построить математически и реально изображения сечений просвечиваемого объекта в направлениях, перпендикулярных обычно получаемым рентгеновским теневым изображениям.

Уровень технического развития элементов и систем визуализации рентгеновских изоб-

ражений в значительной степени определяется уровнем развития электроники.

Важнейшими элементами рентгеновизуализирующих систем являются преобразователи, приемники и регистраторы рентгеновских изображений, позволяющие визуализировать картины распределения интенсивности в теневых рентгеновских изображениях. Для сопоставления уровня достигнутого прогресса в первичных рентгеновизуализирующих системах с существующими на сегодняшний день требованиями и нерешенными проблемами их использования в науке, медицине и технике, в табл. 1 приведены ориентировочные данные, однако там не рассматриваются требования к пороговой чувствительности и частотно-контрастной характеристике систем, поскольку они связаны с временем накопления и интенсивностью проходящего теневого рентгеновского изображения (данные по радиографии на пленку приведены для сравнения, так как они имеют более высокие характеристики). Следует учитывать, что в достижении высоких значений пространственной разрешающей способности определяющую роль играет, кроме собственного разрешения рентгеновизуализирующего преобразователя, разрешающая способность самого источника рентгеновского излучения, создающего теневое изображение объекта с деятельностью, определяемой размерами фокусного электронного пятна на аноде рентгеновской трубки. Ориентировочно для получения разрешения в 5 мкм (или 100 пар линий на мм) требуется иметь размер фокуса, близкий к 5 мкм. В табл. 2 приведены основные типы и направления развития рентгеновизуализирующих преобразователей.

Таблица 1

Области применения рентгеновизуализирующих преобразователей	Предельная пространственная разрешающая способность, пар линий/мм		Предельная контрастная чувствительность, %		Динамический диапазон преобразуемых интенсивностей сигналов	
	достигнуто	требуется	достигнуто	требуется	достигнуто	требуется
Промышленная рентгенодефектоскопия	до 30 (радиография) до 2 (РЗОП)	до 100	1,0—1,5 3—4	0,3—0,5	до 100 до 1000 ЗОП с изоконом	до 1000
Рентгенотелевизионная микроскопия на рентгеновидиконах (промышленное, научное, сельскохозяйственное применение)	до 20 до 100 (в режиме острофокусной проекции)	до 1000	1,5 0,3 (в режиме накопления)	0,1—0,3	до 100	до 1000
Медицинская рентгенодиагностика	до 10 (РЗОП) до 30 (радиография)	до 30 (рентгено-телевизионные системы)	1,0—1,5	0,5	до 50	до 1000

Таблица 2

Тип преобразователя	Физический принцип действия
Рентгеновский ЗОП	Рентгенолюминесцентный экран + фотоэмиттер + ускорение + катодолуминесцентный экран
Рентгеновидикон	Наведенная рентгеновским излучением фотопроводимость
Оптический видикон с волоконной планшайбой и внешним рентгенолюминесцентным экраном	Наведенная люминесцентным оптическим излучением фотопроводимость
Газоразрядная матрица	Возбуждение разряда рентгеновским излучением
ПЭС рентгеночувствительная структура	Принцип зарядовой связи
Матрица микроканальных вторично-электронных умножителей	Умножение фотоэлектронов, возбуждаемых рентгенолюминесценцией на входе в каналы

ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕНТГЕНОВИЗУАЛИЗИРУЮЩИХ СИСТЕМ

В настоящее время к визуализирующим системам рентгенодефектоскопии предъявляются следующие требования:

- повышение частотно-контрастных характеристик особенно при низких интенсивностях рентгеновских изображений;

- расширение диапазона адаптируемости рентгеновизуализирующих систем внутри каждого типа системы с возможностью улучшения получаемой информации;

- выигрыш в пространственном разрешении за счет сжатия растра и сокращения рабочего поля просвечивания и наоборот,

- выигрыш в чувствительности как за счет увеличения поля сканирования при неизменном числе строк и времени кадра, так и за счет увеличения времени накопления (особенно при резком увеличении толщин просвечиваемых объектов). Специально разработанные рентгеночувствительные видеоконны обладают характеристикой регулируемого накопления,

- снижение дозы облучения объекта (или пациента) при использовании импульсного режима работы рентгеновского источника;

- максимальное использование визуализации рентгеновских изображений непосредственно при просвечивании, что обеспечивает многоракурсность получаемой видеoinформации. Опыт разработки и эксплуатации рентгенотелевизионных микроскопов, в которых предусмотрено плавное вращение просвечиваемого объекта вокруг двух и более осей, показывает, что при этом в определенных вращениях ориентациях выявляются дефекты, которые никогда не могут быть обнаружены при радиографии, остающейся в ответственных видах контроля основной системой гарантии качества.

Для реализации многоракурсных режимов просвечивания массивных объектов рентгеновизуализирующие системы должны обладать (как это уже сделано в медицине) достаточной портативностью, чтобы иметь воз-

можность перемещаться вокруг объекта:

- применение многоракурсного просвечивания тесно примыкает к требованию получения максимума информации о состоянии и дефектах ответственных узлов объектов, расположенных в узких, малодоступных для полноценного и всестороннего просвечивания местах. В таких случаях необходимо создание специальных малогабаритных рентгеновских источников, размещаемых в узких местах. Создание рентгенотелевизионных преобразователей, в которых люминесцентная рентгеночувствительная мишень соединяется с телевизионной передающей трубкой с помощью пучка регулярных световодов, позволит решить многие проблемы дефектоскопии, ответственных, но малодоступных для просвечивания зон объектов;

- обеспечение высокой производительности дефектоскопии. Попытки автоматизации процесса анализа ограничиваются дефектами и деталями, имеющими контраст менее 5% (при слабых контрастах низкое отношение сигнала к шуму). Таким образом, центральной проблемой автоматизации рентгеновизуализирующего контроля с целью повышения его эффективности и производительности была и остается проблема дальнейшего повышения контрастной чувствительности, точнее частотно-контрастной характеристики этих систем;

- обеспечение эффективной регистрации и документирования видеoinформации за пределами рентгеновизуализирующих систем (запись и последующий анализ видеoinформации);

- улучшение параметров источников рентгеновского излучения. Несмотря на значительные успехи в создании рентгеновских трубок имеются еще достаточные резервы повышения их эффективности, в частности в создании мощных микрофокусных трубок хотя бы с вращающимся анодом.

Переходя к требованиям к аппаратуре для медицинской рентгенодиагностики, можно повторить почти все вышеизложенные требования, подчеркнув, что здесь также требуется иметь высокoeffективные системы визуализации, обеспечивающие характеристики, близкие к характеристикам радиографии на пленку и с такой же высококачественной регистрацией и документированием.

Очевидно, что и технически и экономически нельзя свести решение задачи создания высокочувствительных рентгеновизуализирующих систем к какому-либо одному, универсальному типу. Следует разделить такие системы на две группы: с высокой разрешающей способностью — для рентгенотелевизионной микроскопии и дефектоскопии и с большим рабочим полем преобразования и просмотра. Соответственно этим группам выявляются и области их применения.

Требования иметь высокое разрешение рентгеновизуализирующих систем, исходя из практики решения научных и технологических проблем электроники и промышленной

дефектоскопии ответственных изделий, будут постоянно возрастать по мере роста потребностей обеспечения надежности макрообъектов на микроскопическом уровне. Отсюда ясна ключевая роль первичных приемников — преобразователей теневого рентгеновского изображения в телевизионный сигнал. В настоящее время собственная пространственная разрешающая способность рентгеновидикона с диаметром мишени 18 мм не превышает 20 пар линий/мм и дальнейшее повышение разрешающей способности, например до 100 пар линий/мм достигается путем рентгеновской проекции с увеличением 5—10 раз с применением микрофокусного источника рентгеновского излучения. Дальнейшее повышение разрешающей способности за счет режима проекции также ограничено резким падением мощности рентгеновских трубок при уменьшении фокусного пятна до 1—2 мкм.

Разрешающая способность высокоомного фотопроводящего слоя мишени рентгеновидикона может обеспечивать потенциальный рельеф до 100 пар линий/мм, однако диаметр считывающего электронного луча невозможно снизить до 5 мкм из-за конструктивных особенностей отпаянного рентгеновидикона.

Следует отметить, что уже в существующем виде рентгеновидикона обладают свойствами и характеристиками, которые обеспечивают необходимую для широкого применения адаптируемость и универсальность.

К таким приборам относятся рентгеновидикона с двойными мишенями, считываемые одним и тем же электронным лучом, причем обе мишени стоят одна за другой перпендикулярно рентгеновскому излучению, при этом передняя мишень рассчитана на прием более мягкой компоненты рентгеновского излучения, а следующая за ней — на прием более жесткой компоненты, что обеспечивает некоторого рода спектральные оценки и необходимо для просмотра очень неоднородных для рентгеновского просвечивания объектов [3].

Недостатком рентгеновидиконов является послеизображение и инерционность, обусловленные характеристиками фотослоев под рентгеном. Из других перспективных видов преобразователей для рентгентелевизионной микроскопии следует отметить матрицы канальных вторично-электронных умножителей и преобразователи на ПЗС-структурах. Канальные ВЭП, как следует ожидать, могут обеспечить близкую к теоретическим предельную чувствительность благодаря возможности объединения их в каскады. Разрешающая способность их близка к 50 пар линий/мм.

Преобразователи на ПЗС-структурах, созданные для оптического диапазона, показали возможность работы в рентгеновском диапазоне. Можно ожидать, что принцип матричных преобразователей на полупроводниковых структурах различного рода окажется наиболее перспективным как по обеспечению разрешения (элементы БИС — 1 мкм), так и

по управляемому накоплению, запоминанию и считыванию.

Следует учитывать, что из соображений ограниченного числа строк телевизионного кадра одновременно можно просматривать не более 500 строк, что при 100 пар линий/мм соответствует рабочему полю просвечивания 1×1 мм.

Эти же системы пригодны и для решения такой задачи: иметь при максимальной разрешающей способности достаточно большое рабочее поле охвата площади теневого рентгеновского изображения, т.е. иметь действующих 2000—4000 строк, а считывать выборочно и отображать на ВКУ по полю кадра те же 500 строк. Уже разработаны системы записи и обработки на ЭВМ изображений с кадром на 2000 строк.

При наблюдении перемещающихся деталей при больших увеличениях внутренней структуры непрозрачных объектов необходимо помнить, что скорость перемещения этих деталей на телевизионном экране увеличивается по сравнению со скоростью действительных их перемещений в объекте на величину, равную масштабу увеличения. В результате при контроле с увеличением в 10 раз и со скоростью 1 м/мин продольных сварных швов труб на экране перед оператором изображение движется со скоростью 10 м/мин, и эта скорость оказывается предельной для восприятия оператором движущихся изображений без пропусков дефектов.

Рассматривая вторую группу рентгеновизуализирующих преобразователей — с большим (свыше 100×100 мм) рабочим полем приемной мишени можно повторить те же технические задачи, какие уже рассматривались выше для преобразователей с высоким разрешением. Здесь так же желательно иметь высокое пространственное разрешение и высокую контрастную чувствительность как в промышленной рентгенодефектоскопии, так и в медицинской рентгенодиагностике (см. табл. 1).

Для восприятия врачом-рентгенодиагностом изображения с детальностью, обеспечиваемой разрешающей способностью 50 пар линий/мм необходимы различные дополнительные устройства, позволяющие значительно расширить диапазон эффективного применения рентгеновизуализирующих систем.

Перспективы развития рентгеновизуализирующих систем.

В настоящее время необходимым является разработка эффективности дополнительной обработки информации, получаемой в виде телевизионного изображения.

Рассмотрим некоторые методы обработки информации:

— разработка запоминающих устройств позволяет записывать на различные магниторегистрирующие носители или в машинную память практически неограниченные объемы видеoinформации и многократно ее считывать без потерь, этот метод уменьшает расходы на серебросодержащую рентгеновскую пленку и позволяет проводить многие виды

машинной обработки информации, повышающие распознаваемость изображений;

— машинное оснащение рентгеновизуализирующих систем позволяет осуществлять высококачественное документирование изображений с помощью различных, в том числе многоцветных принтеров. Различные виды машинной обработки изображений повышают их распознаваемость [4] как по удалению фона, так и по улучшению частотноконтрастных характеристик, при этом информация может поступать или из памяти машины или осуществляется программная обработка сигналов непосредственно с рентгеновизуализирующего преобразователя;

— при записи крупноформатных изображений с кадром на 1000, 2000, 4000 строк появляется возможность вывода на экран и рассмотрения в увеличенном масштабе и с повышением контрастности любой части кадра, несущей информацию, требующую дополнительного анализа с высоким разрешением плохо различимых деталей;

— для обнаружения незначительных изменений в рентгенограммах одного объекта, подвергнутого тем или иным энергетическим или силовым воздействиям проводят сравнение (вычитание) двух введенных в память машины изображений;

— возможна запись цифровых видеопленок с последующими обработками изображений по всем перечисленным методам с целью выявления деталей и особенностей изображения, проявляющихся после обработки в динамике.

В настоящее время рентгеновизуализирующие системы находят новые области применения:

— системы с наиболее мягким (5—10 кэВ) диапазоном рентгеновского излучения предназначены для просвечивания с высоким разрешением малогабаритных биологических объектов (семян, листьев, насекомых и т.п.). На базе разработанного видикона со стекловолоконной планшайбой и внешним (наружным) рентгенолюминесцентным экраном создан микроскоп для анализа семян и других элементов растений. При дальнейшем повышении чувствительности и разрешения микроскопа он может стать мощным и массовым средством определения всхожести и оценки ожидаемой урожайности семенных материалов;

— вынесение рентгенолюминесцентного экрана, установленного на торце пучка регулярных световодов, в трудно доступные зоны и стыковка второго торца пучка с видикомом со стекловолоконной планшайбой позволит решить многие проблемы контроля сложных сварных конструкций в авиационной и других отраслях машиностроения. Здесь также является проблемой повышение контрастной чувствительности и разрешающей способности изображения;

— создание многострочных систем с повышением контрастной чувствительности за счет накопления и импульсного считывания позволит решить проблему массового конт-

роля структурных дефектов в монокристаллических материалах электронной промышленности;

— развитие нового вида компьютерной томографии для контроля внутренних сечений малогабаритных деталей и узлов с высоким разрешением и высокой контрастной чувствительностью потребует создать источники с бегущим рентгеновским лучом;

— возможность существенного повышения уровня восприятия и различения деталей в монотонно изменяющихся по плотности зонах рентгеновского изображения с помощью цветового контрастирования получаемых изображений и цифровой обработки позволит создать системы технического зрения (повышение отношения сигнала к шуму в мало-контрастных деталях изображения до уровня, достаточного для срабатывания устройств автоматики).

Принципы автоматизированного видеоконтроля в оптической области [1, 2] можно перенести в рентгеновизуализирующие системы, при этом возможен принципиально новый эффект благодаря переходу от поверхностных к объемным исследованиям и измерениям. Принцип компаратора в рентгеновизуационной микроскопии успешно реализован и применяется сравнительно давно в измерительном рентгеновизуационном микроскопе МТР-ЗИ.

Рассматривая другие потенциальные возможности создания и применения измерительных рентгеновизуализирующих систем можно, кроме геометрических измерений, привести и возможности чувствительного измерения (видеофотографирования) плотности и толщины (с чувствительностью до 1—2%), и перемещений твердых и жидких сред (например, движение расплавленных припоев).

Постановка и реализация фундаментальных технических решений проблем обеспечения качества и надежности промышленной продукции неизбежно потребует непрерывного развития как элементов рентгеновизуализирующих систем, так и самих систем в целом. Приведенные ориентировочные пути и направления их развития важны не только как области приложения научных потенциалов, но и как предметы создания промышленной продукции высокой наукоемкости, решающей многие проблемы обеспечения качества и пользующейся неизменным спросом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Даренко А.О., Тупикин В.Д. Автоматизация технологического визуального контроля в микроэлектронике. — Электронная промышленность, 1990, вып. 9, с. 4—7.

2. Автоматизированный видеоконтроль — технология будущего. — Стандартизация и качество продукции за рубежом, 1988, вып. 6, с. 20.

3. А.с. № 524331 (СССР). Преобразователь двумерного распределения интенсивностей направленного потока электромагнитного и корпускулярного излучений в электрический сигнал/Н.В.Рабодзей, Н.Т.Румянцев. — Оpubл. в Б.И., 1976, № 29.

4. Технические средства медицинской интроскопии/Н.Н.Блинов и др. — М.: Медицина, 1989.

Статья поступила 30 января 1991 г.

РАЗРАБОТКА ПАРКА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ УСТАНОВОК НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ДЕФЕКТОСКОПИИ

М.Н.Виноградов,

канд.техн.наук В.Н.Михайлов

Рентготелевизионные средства неразрушающего контроля являются перспективными и характеризуются повышенной выявляемостью дефектов, высокой производительностью контроля и низкой стоимостью.

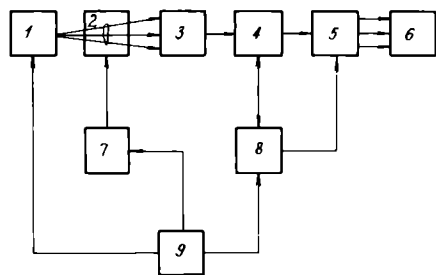
Современные рентготелевизионные системы (РТС) дают информацию о внутреннем строении материалов и изделий как в статике, так и в динамике с отображением ее на экране. Применение аналого-цифровых методов обработки и анализа изображений позволит разработать новое поколение РТС.

В разработанной РТС (рис. 1) выходной пучок излучения несет информацию о внутренней структуре объекта и представляет собой радиационное изображение, которое преобразуется детектором в светотеневое, затем с помощью ТВ датчика — в электрический сигнал. При обработке этого сигнала подавляются помехи, обнаруживается и выделяется сигнал от дефекта, измеряются параметры, проводится классификация типов дефектов.

Таким образом, РТС можно рассматривать как канал передачи сигналов, состоящий из ряда звеньев (см.рис. 1) со следующими функциями:

- генерация рентгеновского излучения (источник излучения);
- модуляция (исследуемый объект);
- детектирование (преобразователь излучения);

Рис. 1. Обобщенная структурная схема РТС: 1 — источник рентгеновского излучения, 2 — исследуемый объект, 3 — преобразователь рентгеновского излучения, 4 — ТВ канал, 5 — видеопросмотровое устройство (ВПУ), 6 — зрительная система оператора, 7 — манипулятор, 8 — устройство обработки и анализа изображения, 9 — пульт управления (ПУ) РТС



- формирование видеосигнала;
- преобразование сигнал-свет (отображение на кинескопе);
- восприятие и оценка (зрительная система оператора);
- обработка и анализ изображения.

Для повышения производительности контроля в состав РТС вводят манипулятор, обеспечивающий механизированную подачу изделий к преобразователю излучения, дистанционную маркировку дефектных участков изделия и другие операции. Обычно проектирование и изготовление манипуляторов проводит предприятие-потребитель РТС. Управление РТС проводится с пульта управления.

В настоящее время отечественные и зарубежные РТС для неразрушающего контроля (НК) обладают более низкой контрастной чувствительностью по сравнению с серебряносодержащими пленками в рентгенографии, отличаются малой степенью автоматизации настройки и не позволяют автоматически выбирать режим работы, время накопления сигналов и управлять источником излучения. В связи с этим, намечаются дальнейшие пути совершенствования РТС:

- применение перспективных преобразований рентгеновского излучения, аналоговых и цифровых методов обработки изображений;
- автоматизация работы РТС (программирование режимов просвечивания, с учетом характеристик материала и параметров разложения РТС, автоматизация обработки и

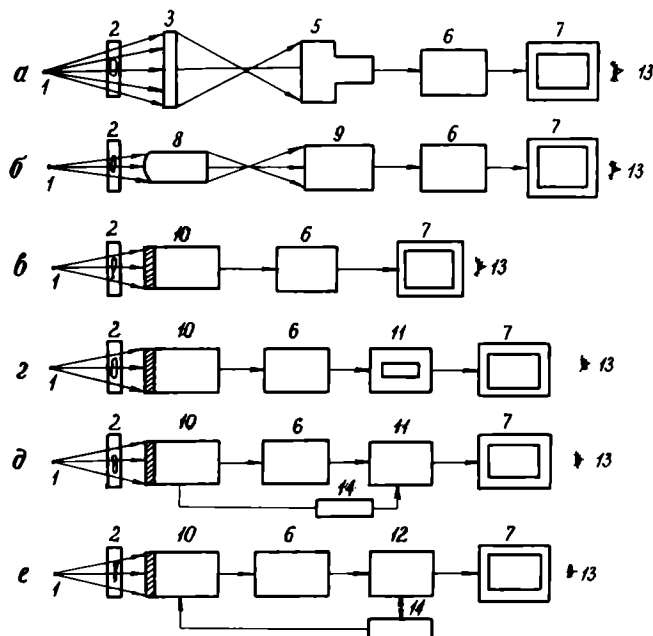


Рис. 2. Основные типы РТС с анализом изображения на экране ВПУ: 1 — источник рентгеновского излучения, 2 — исследуемый объект, 3 — флюороскопический экран (стинцилляционный экран или монокристаллический преобразователь), 4 — оптическая система, 5 — изокон (суперортикон), 6 — телеканал связи, 7 — видеопросмотровое устройство (ВПУ), 8 — РЭОП, 9 — видеокон, 10 — рентгеновидикон, 11 — устройство памяти на ЗЭЛТ, 12 — устройство цифровой обработки, 13 — зрительная система, 14 — пульт управления РТС



Виноградов Максим Николаевич, сотрудник НИИ промышленного телевидения "Растр", имеет 6 печатных работ.

анализа изображений, управление поточной линией).

Выбор звеньев РТС и их согласование проводятся на основе анализа типов и параметров дефектов.

Для автоматизации анализа дефектов их делят на два класса: протяженные (трещины, непровары) и локальные (поры). На качество контроля влияют как характеристики самого материала (плотность, атомный вес), так и его геометрические параметры (форма, размеры объекта).

При разработке РТС основное внимание необходимо уделять выявлению мелких дефектов. Это ограничение позволяет рассматривать РТС как линейную систему при ее анализе.

Пространственная фильтрация радиационных изображений от различных типов дефектов проанализирована в работе [1].

Для неразрушающего контроля изделий с помощью рентгентелевизионных методов применяются различные типы РТС, каждая из которых решает конкретную задачу по выявляемости определенных типоразмеров дефектов. РТС представляет собой различные сочетания источников и преобразователей рентгеновского излучения, исследуемых объектов и средств телевизионной аппаратуры [2].

Структуры РТС, используемые в настоящее время в промышленности, приведены на рис. 2.

В первой структуре РТС (рис. 2,а) преобразователем рентгеновского излучения является флюороскопический экран, сцинтилляционный экран или монокристаллический преобразователь. Из-за низкой яркости свечения преобразователей рентгеновского излучения в качестве источника видеосигнала используется высокочувствительная трубка суперортikon или изокон, обладающий более низким уровнем шумов по сравнению с суперортиком. Вместо изокона может быть при-

менен супервидикон, имеющий преимущества перед изоконом по простоте настройки и обслуживания.

РТС, использующие в качестве преобразователя поликристаллические экраны и монокристаллы, могут работать в широком диапазоне энергий от нескольких десятков киловатт до нескольких десятков мегаватт. Малая инерционность системы позволяет проводить неразрушающий контроль изделий толщиной от 5 до 75 мм по стали со скоростью до 4 м/мин при контрастной чувствительности не хуже 3—4%.

Во второй структуре РТС (рис. 2,б) преобразователем излучения является рентгеновский электронно-оптический преобразователь (РЭОП), являющийся усилителем яркости рентгеновских изображений, а в качестве ТВ датчика используется видикон или его разновидности, например плюмбикон, обладающий по сравнению с видеконом меньшей инерционностью, что позволяет применять его при НК движущихся объектов. При этом диапазон контролируемых толщин изделий по стали составляет от 5 до 30 мм при контрастной чувствительности не хуже 3—4%. К характерным особенностям такой структуры построения следует отнести высокую производительность контроля, а также оптическую систему большой светосилы. Относительные отверстия оптики, в состав которой входят объективы, лежат в пределах 1:1—1:0,85, что обеспечивает малый уровень потерь света при переносе изображения с входного экрана РЭОП на мишень передающей телевизионной трубки.

В третьей структуре РТС (рис. 2,в) отсутствует оптическая система, а использование передающих телевизионных трубок, чувстви-



Михайлов Владимир Николаевич, ведущий инженер НИИ промышленного телевидения "Растр". В 1990 г. защитил кандидатскую диссертацию по разработке рентгентелевизионных систем для промышленной дефектоскопии, имеет 26 печатных работ.

тельных к рентгеновскому излучению — рентгеновидиконах, позволяет повысить контрастную чувствительность (до 1%) и разрешающую способность (3—20 пар линий/мм).

В отечественной промышленности для неразрушающего контроля изделий машиностроения взамен систем, основанных на методе рентгенографии, стали применять РТС на базе рентгеновидиконах, работающих в узком диапазоне контролируемых толщин (до 10 мм по стали). Однако наряду с высокой контрастной чувствительностью и разрешающей способностью рентгеновидиконах обладают высокой инерционностью (40%), поэтому не могут быть использованы для просвечивания быстро движущихся объектов, кроме того они характеризуются низким отношением сигнал/шум на выходе ТВ канала.

Накопление видеoinформации в ЗУ повышает отношение сигнал/шум. Так, в структурах РТС (см. рис. 2,г,д) используется серийно выпускаемое устройство памяти УП-4 на ЗЭЛТ с кремниевой мишенью типа сигнал-сигнал.

Применение в составе РТС ЗУ на ЗЭЛТ позволило повысить контрастную чувствительность примерно в 2 раза, а также расширить диапазон толщин до 20 мм по стали, т.е. в 2 раза. При этом удалось приблизиться к качеству снимков на рентгеновской пленке. Однако аналоговая обработка с применением ЗУ на ЗЭЛТ с кремниевой мишенью характеризуется временной нестабильностью тока пучка, а также ухудшением неравномерности видеосигнала при увеличении времени накопления в ЗУ, так как кроме сигнала возрастает и фоновая составляющая изображения. Особенно это проявляется в режиме записи при большом числе кадров накопления ($N_k > 100$), когда величина нестабильности тока пучка соизмерима или превышает величину модуляции пучка полезным входным сигналом, кроме того необходима квалифицированная длительная настройка режима записи для выбранных времени накопления кадров, размеров и типов разверток.

По каждому из рассмотренных типов РТС выпускались НПО «Волна» (г. Новгород) соответствующие типы телевизионных установок (ПТУ «Интроскоп» — рис. 2,а, ПТУ-50 — рис. 2,б, ПТУ «Дефектоскоп» — рис. 2,в) и устройство аналоговой памяти на запоминающей ЭЛТ с кремниевой мишенью УП-4. Однако разработанная аппаратура имеет низкую контрастную чувствительность (уступающую системам на пленке), малый диапазон контролируемых толщин и отсутствует автоматизация анализа дефектов.

Перспектива улучшения контрастной чувствительности связана с цифровой обработкой изображений (ЦОИ) и в первую очередь с накоплением. Кроме того, переход к цифровым методам обработки позволяет автоматизировать процесс анализа рентгеновских изображений с использованием спецпроцессора или ЭВМ, работающих на линии с РТС. Появляется возможность измерения размеров дефектов с последующим сравнением с допу-

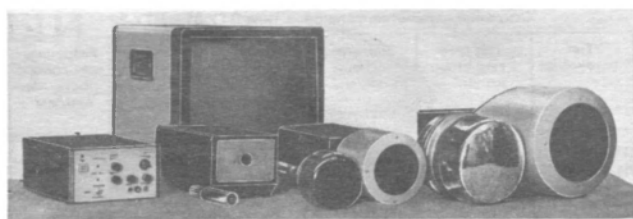


Рис. 3. Телевизионная установка с различными датчиками

ском и выводом «норма-брак».

В НПО «Волна» (г. Новгород) разработаны телевизионные установки нового поколения с цифровой обработкой изображений (рис. 3).

Установки выполнены по принципу замкнутых телевизионных систем с передачей сигнала по кабельным линиям связи и воспроизведением теневых рентгеновских изображений на экране видеопросмотрового устройства черно-белого изображения. Установки могут комплектоваться как комплексом ЦОИ (ПТУ-82, ПТУ-85, ПТУ-86), так и без него (ПТУ-81, ПТУ-83, ПТУ-84). Отличаются они друг от друга телевизионными датчиками (рис. 4,а,б).

Установки ПТУ-81, ПТУ-82 выполнены на рентгеновидиконах (см. рис. 2,в,г.).

Установки типа ПТУ-81 и ее модификации разработаны взамен ПТУ «Дефектоскоп», на современной элементной базе характеризуются повышенной контрастной чувствительностью, надежностью, улучшенными массогабаритными характеристиками, пониженным энергопотреблением.

Установка ПТУ-82 обладает широкими функциональными возможностями. В ее состав входит комплекс цифровой обработки изображений, включающий видеопроцессор ПС-1, пульт управления видеопроцессором ПУ-165 и устройство ввода УВВ-4 (координатный шар). Комплекс сочетает высокую производительность (в темпе поступления сигнала) яркостных преобразований и арифметикологических операций над изображениями с возможностью программного анализа изобра-

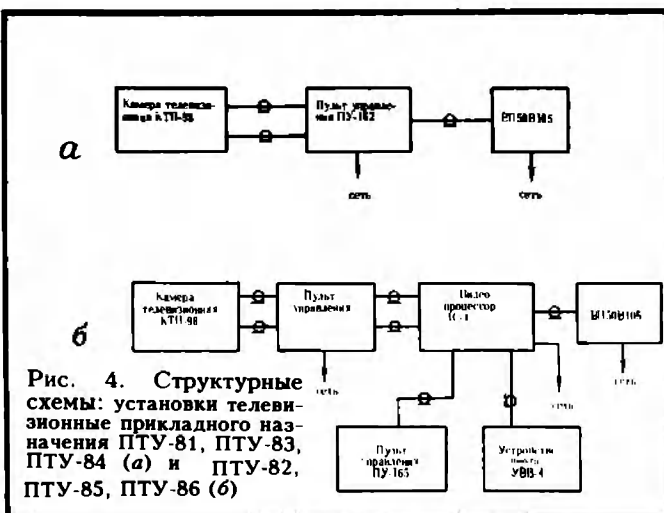


Рис. 4. Структурные схемы: установки телевизионные прикладного назначения ПТУ-81, ПТУ-83, ПТУ-84 (а) и ПТУ-82, ПТУ-85, ПТУ-86 (б)

Основные параметры установок типа ПТУ-81 и ПТУ-82

Тип установки	Тип рентгеновидикона	Диаметр рабочего поля, мм	Толщина контролируемого изделия по стали, мм	Контрастная чувствительность, %	Разрешающая способность, пар/мм
ПТУ-81	ЛИ-504	90	20	0,5	7
ПТУ-81-1	ЛИ-473-1	90	20	1	7
ПТУ-81-2	ЛИ-444	18	20	1,5	20
ПТУ-81-3	ЛИ-447	150	20	2	2
ПТУ-82	ЛИ-504	90	45	0,5	7
ПТУ-82-1	ЛИ-473-1	90	40	≤ 1	7
ПТУ-82-2	ЛИ-444	18	40	$\leq 1,5$	20
ПТУ-82-3	ЛИ-447	150	40	≤ 2	2

Примечание: Параметры разложения — 625 строк, 25 кадров в секунду при чересстрочной развертке.

ражений с помощью встроенной микроЭВМ и эффективной поддержки диалогового режима, обеспечиваемого пультом управления ПУ-165, устройством ввода УВВ-4 и разветвленным меню.

Комплекс обеспечивает:

- преобразование входного видеосигнала в цифровую форму, запись и хранение информации;

- отображение на черно-белом и(или) цветном мониторах видеоизображений, хранящихся в памяти или с выхода АЦП;

- накопление до 256 кадров изображения;

- представление исходного изображения в псевдоцвете (8 цветов) в одном из четырех поддиапазонов яркости;

- поточечное преобразование входного или хранимого изображений с помощью просмотровых таблиц; преобразование гистограмм, бинаризация;

- задание зоны анализа с помощью рамки и устройства ввода, слежение за координатами рамки и курсора;

- последовательную селекцию объектов, находящихся в зоне анализа, или объекта, указанного курсором;

- измерение геометрических параметров объектов и построение гистограмм распределения размеров;

- отображение меню и результатов измерения на экране ВПУ;

- запись адресов переходов или иной информации в ППЗУ;

- связь с внешними СВТ через интерфейсы ИРПР, ИРПС, И41.

Испытания ПТУ-82 совместно с рентгеновским аппаратом РАП 150/300 показали значительное повышение отношения сигнал/шум, уменьшение неравномерности сигнала изображения по полю (в стандартном теле-

визионном режиме для рентгеновидикона она может достигать 100%). Достигнуто значение контрастной чувствительности 0,3—0,5% по стали на толщине 5—45 мм (рис. 5).

Телевизионные установки ПТУ-81, ПТУ-82 послужили основой для ряда разработок, отличающихся передающей трубкой в телевизионной камере.

Установки ПТУ-83, ПТУ-85, разработанные взамен ПТУ-50, предназначены для воспроизведения рентгеновских изображений с выходных экранов рентгеновских электронно-оптических преобразователей, а также для наблюдения различных объектов в видимой и ближайшей инфракрасной областях спектра. Для работы в ближайшей инфракрасной части спектра потребитель может использовать видикон ЛИ438, а для видимого спектра — любые дюймовые видиконы или их разновидности (кремникон, плумбикон) с электромагнитными отклонением и фокусировкой.

Установки ПТУ-84, ПТУ-86 на высокочувствительной трубке ЛИ702, разработанные взамен ПТУ — «Интроскоп», предназначены для воспроизведения изображений с различных рентгеновских экранов.

Комплекс ЦОИ в ПТУ-85 и ПТУ-86 выполняет те же функции, что и в ПТУ-82.

Основные параметры установок ПТУ-83, ПТУ-85, ПТУ-84 и ПТУ-86

Тип установки	Тип трубки	Освещенность на мишени, лк	Разрешающая способность по таблице ИТ-72, т. п.
ПТУ-83	ЛИ-441-1М	1	600
ПТУ-83-1	ЛИ-469	0,25	600
ПТУ-83-2	ЛИ-479	0,1	600
ПТУ-85	ЛИ-441-1М	1	350
ПТУ-85-1	ЛИ-469	0,25	350
ПТУ-84	ЛИ-702	5×10^{-3}	500
ПТУ-86	ЛИ-702	5×10^{-3}	350

Примечания: параметры разложения те же, что и в ПТУ-81, ПТУ-82; размер рабочего поля обзора определяется РЗОП или рентгеновским экраном; контрастная чувствительность 2—3%, толщина контролируемых изделий до 40 мм по стали.

По сравнению с аппаратурой прошлого поколения и зарубежными аналогами вновь разработанная имеет повышенную чувствительность, а с применением комплекса цифровой обработки изображений расширяются ее функциональные возможности.

Адрес для заказа аппаратуры: 173000, г. Новгород, ул. Ленинградская, д. 39, НПО «Волна». НИИ ПТ «Растр».

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов В.Н. Пространственная фильтрация радиационных изображений в рентгеновидиконах. — Техника средств связи, 1989, вып. 2, с. 85—91.
2. Румянцев С.В., Штань А.С., Гольцев В.А. Справочник по радиационным методам неразрушающего контроля/Под ред. С.В.Румянцева. — М.: Энергоиздат, 1982.

Статья поступила 30 января 1991 г.

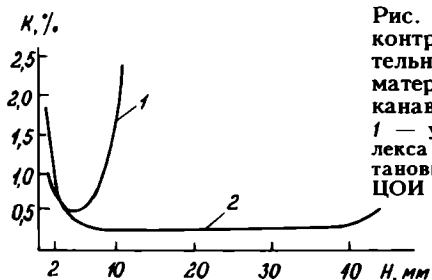


Рис. 5. Зависимость контрастной чувствительности от толщины материала по стали по канавочному эталону: 1 — установка без комплекса ЦОИ; 2 — установка с комплексом ЦОИ

РЕНТГЕНТЕЛЕВИЗИОННЫЙ КОМПЛЕКС С ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ

канд. техн. наук В. П. Орловский,
канд. физ.-мат. наук А. Е. Оганов,
А. С. Мирзоянц, канд. техн. наук Г. П. Афоненко



Орловский Валентин Петрович — директор предприятия "Кадр", окончил Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина) и аспирантуру на кафедре телевидения. В 1969 г. защитил кандидатскую диссертацию по исследованиям периодических и флуктуационных помех и их влиянию на качество телевизионного изображения. Его научная деятельность связана с созданием адаптивных оптико-электронных систем различного назначения, основанных на применении многоэлементных фотоприемных устройств. В. П. Орловский — автор более 100 научных работ и 45 изобретений. За разработку и внедрение глубоководных технических комплексов в 1987 г., он удостоен почетного звания лауреата Государственной премии СССР.

Совершенствование рентгентелевизионных систем достигается созданием комплексов со встроенными компьютерами. Программное обеспечение осуществляет измерение расстояний и площадей, построение распределения плотностей на заданных участках изображения, нелинейное и цветовое контрастирование объектов, а также реализацию других алгоритмов обработки изображений.

Существенное влияние на характеристики рентгентелевизионного комплекса (РТК) оказывает способ формирования телевизионных изображений. Рентгентелевизионные датчики можно разделить на две группы [1]:

- рентгеновидиконы, в которых преобразование рентгеновского излучения в потенциальный рельеф происходит за счет явления внутреннего фотоэффекта в материале высокоомной полупроводниковой мишени;

- передающие рентгеночувствительные трубки (РТ) с волоконно-оптическими входными окнами с нанесенным на него слоем рентгеночувствительного люминофора, где рентгеновское изображение преобразуется в оптическое.

Сочетание способа формирования рентгеноизображений с программно-вычислительным комплексом на базе ПЭВМ позволяет обеспечить в РТК:

- разделение процессов экспозиции и считывания рентгеноизображений с целью оптимального согласования потока информации с допустимой скоростью ввода в ПЭВМ;

- наибольшую контрастную чувствительность и разрешающую способность;

- оптимизацию алгоритмов обработки рентгеноизображений путем выбора наиболее эффективных;

- сравнительно низкую стоимость по сравнению с системами на высокочувствительных телевизионных трубках типа «супервидикон» или «супервидикон+ЭОП».

Рассмотрим возможность оптимизации параметров формирователя сигнала изображения.

Учитывая, что удельная емкость мишеней видеоконвекторов составляет $(1-2) \cdot 10^{-5}$ Ф/м², а глубина потенциального рельефа ограничивается нелинейностью вторично-эмиссионной

характеристики мишени и не может превышать $(15-18)В$, накопительная способность мишени достигает значения $(2-3) \cdot 10^{-4}$ Кл/м². Для ее реализации плотность электронного облучения должна достигать $(20-30) \times 10^{-4}$ Кл/м², в то время, как для дюймовых видеоконвекторов в стандартном режиме разложения она не превышает значения $2 \cdot 10^{-4}$ Кл/м².

Повышение удельного сигнала ПТТ, а следовательно и отношения сигнал/шум может быть реализовано лишь снижением эквивалентной полосы частот F .

С учетом зависимости коэффициента шума предварительного усилителя от полосы частот, можно считать, что максимальное отношение сигнал/шум достигается в эквивалентной полосе частот.

Оптимизацией режима разложения ПТТ (по отношению к вещательному стандарту разложения) позволяет повысить отношение сигнал/шум в 5—6 раз. Это имеет принципиальное значение для ввода информации в ПЭВМ и ее последующей обработки, так как в данном случае необходимо учитывать не «взвешенное» (с учетом помех), а «квазипиковое» отношение. Для лучших образцов телевизионных камер, работающих в стандартном режиме разложения, а «квазипиковое» отношение сигнал/шум не превышает значения 15—18, что приводит к потере контраст-

ной чувствительности РТК при вводе информации в ПЭВМ. В рассматриваемой системе это отношение достигает величины 75—100 дБ (эффективное 54—58 дБ).

При переходе к малокадровому режиму разложения предъявляются дополнительные требования к характеристикам ПТТ, позволяющим хранить накопленный на мишени потенциальный рельеф в течение достаточно протяженного цикла считывания видеоинформации без существенного ухудшения глубины модуляции на мелких деталях изображения. Так на видиконе на основе Cd—Se потенциальный рельеф сохраняется в течение 8—10 с.

Рассмотрим систему ввода и изображения информации. Использование в качестве обрабатывающей ПЭВМ компьютеров класса IBM PC AT 286/386 существенно упрощает программно-аппаратные средства, необходимые для ввода изображения в микроЭВМ.

Характеристики малокадрового формирователя сигнала изображения (без съемного рентгеночувствительного люминофора)

Размер мишени, мм	18	и	18
Число строк разложения	512		1024
Частота строк, Гц	150		
Эквивалентная полоса частот, кГц	40		80
Время считывания информации, с	3,4		6,8
Чувствительность, приведенная к мишени, лк	10^{-2}		$6 \cdot 10^{-3}$
Глубина модуляции сигнала на 400 т.л., %	55		50
Эффективное отношение сигнал/шум, дБ	58		55
Режим работы:	стандартный для юстировки и визуального контроля; малокадровый с разделенными циклами: подготовка, накопление, считывание; малокадровый с совмещенными циклами накопления, считывание;		

Аппаратно-программные средства при этом решают следующие задачи:

— согласование темпа поступления информации от малокадрового формирователя сигнала изображения (ФСИ) со скоростью записи его в ПЭВМ;

— перезапись изображения из ПЭВМ в буферную память для отображения его на ВКУ и обратно;

— обеспечение управления от ПЭВМ режимом работы РТК.

Сигнал от малокадрового ФСИ поступает на аналого-цифровой преобразователь, где происходит его преобразование в последовательность 8-разрядных кодов.

Последовательность кодов поступает на буферный блок, представляющий собой запоминающее устройство объемом на одну строку сигнала изображения.

Основным блоком в тракте ввода/вывода информации является устройство связи, которое обеспечивает двусторонний обмен информационными и управляющими сигналами между компьютером и внешними устройствами.

Для обеспечения поступления и съема информационных сигналов в микроЭВМ служит непосредственно встраиваемый в системную шину адаптер.

Канал отображения информации включает в себя два блока памяти и схему управления. Он обеспечивает прием и хранение сигнала изображения, визуализацию хранящейся информации, обмен информацией с микроЭВМ. Формат поля изображения, хранящегося в памяти, составляет 512×512 8-разрядных элементов. Память обеспечивает хранение двух полей сигнала изображения, что позволяет оператору осуществить выбор кадра для отображения и для обмена с ПЭВМ.

После обработки в компьютере изображение может быть записано в память с целью его визуализации. Схема управления принимает адресные и синхронизирующие сигналы от микроЭВМ и ФСИ и осуществляет адресацию ячеек блоков памяти с возможностью обращения к произвольной ячейке.

При обработке изображений рентгеновизионных малоконтрастных мелкоструктурных объектов изображение необходимо идентифицировать на фоне паразитных низкочастотных адитивных и мультипликативных помех, а также сопутствующих флуктуационных шумов. Несмотря на оптимизацию режима работы малокадрового формирователя сигнала изображения, дополнительное улучшение параметров теневого рентгеновского изображения достигается путем обработки на ПЭВМ.

Архитектура построения и программное обеспечение РТК позволяет реализовать известные алгоритмы цифровой обработки изображений, при этом осуществляются следующие операции: низкочастотную линейную фильтрацию; оконтуривание изображений; нелинейное и цветовое контрастирование; шумоподавление; измерение площадей и расстояний.

Анализ применения алгоритмов обработки рентгеноизображений показывает, что наиболее эффективное подавление помех происходит при сглаживании изображений на основе оценки гистограмм с сохранением контурных перепадов, в отличие от низкочастотной пространственной фильтрации, размывающей границы объектов.

Алгоритмы цветового контрастирования чувствительны к исходному контрасту изображений. Для слабоконтрастных объектов (менее 3—5%) их применение оказывается неэффективным.

Таким образом, исследование характеристик РТК позволяет сделать следующие выводы:

— предлагаемое построение системы существенно упрощает аппаратно-программные средства по вводу и обработке изображений с минимальными потерями потенциальной контрастной чувствительности;

— при малокадровом способе формирования видеосигнала повышается квазипиковое отношение сигнал/шум не менее чем в 5—6 раз, и разрешающая способность в 1,5—1,7 раза;

— применением дефлектора со стекловолоконным входным окном и мишенью на основе Cd—Se, сопряженного с люминесцентным экраном, достигается чувствительность, соизмеримая с чувствительностью супервидеоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орловский В.П., Мирзоянц А.С. Проектирование оптико-электронных систем высокого разрешения. — Минвузовский сборник. Проектирование астрофизических систем с электронным растровым сканированием. — Новгород, НПИ, 1989, с. 26.
2. Оганов А.Е. Передающие рентгеночувствительные телевизионные трубки. Материалы научно-практической конференции «РЕНТГЕН-1». — Нальчик, 1990, с. 92.
3. Ярославский Л.П. Цифровая обработка сигнала в оптике и голографии. Введение в цифровую оптику. — М.: Радио и связь, 1987.

Статья поступила 29 января 1991 г.

В.И.Смирнов

УДК 539.26:531.75

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРЕМНИЕВЫХ МЕМБРАН С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОВСКОГО КООРДИНАТНОГО ДЕТЕКТОРА

Основу кремниевых тензодатчиков составляют мембраны толщиной несколько микрометров, получаемые на кремниевой пластине методами локального травления [1]. При их изготовлении важное значение имеет контроль геометрических параметров. Контроль должен быть бесконтактным, обеспечивать высокую точность и экспрессность. Всем этим требованиям удовлетворяют методы измерения коэффициента пропускания $T = I/I_0$ или коэффициента отражения $R = I'/I_0$, где I_0 , I' и I — интенсивности соответственно падающего, отраженного и прошедшего через образец электромагнитного излучения. Рассмотренный в работе [2] контроль с использованием отражательной спектрометрии оптического излучения обладает высокой точностью, но не обеспечивает экспрессность, поскольку в результате измерения можно определять толщину только одной мембраны.

Предлагаемый метод основан на измерении пространственного распределения прошедшего через мембраны рентгеновского излучения с помощью линейного координатного детектора и позволяет с высокой точностью определять геометрические параметры нескольких мембран одновременно. Поскольку для рентгеновского излучения коэффициент отражения равен нулю, толщина мембраны d определяется выражением:

$$d = \frac{\ln T}{\mu} - \frac{\ln(I_0/I)}{\mu},$$

где μ — коэффициент ослабления.

Для реализации этого метода в разработанной установке в качестве источника излучения использована трубка рентгеновского микроскопа МИР-2, регистрацию и обработку информации о пространственном распределении потока рентгеновских квантов осуществляет рентгеновский координатный детектор (РКД). РКД включает в себя блок детектирования линейный координатный, процессор аналоговый, комплекс сбора и обработки информации МК-1-01, сопряженный с ми-

кроЭВМ "Искра 1030". Блок детектирования представляет собой пропорциональный счетчик с проточной смесью газа 90%Xe + 10%CH₄. По оси корпуса детектора имеется нить — анод, оба конца которой подключены к двум зарядочувствительным предусилителям. В зависимости от места поглощения рентгеновского кванта импульсы, снимаемые с обоих концов нити — анода, будут сдвинуты по времени. Этот временной сдвиг анализируется аналоговым процессором и комплексом МК-1-01, в ячейках памяти которого накапливается информация о пространственном распределении рентгеновского излучения, прошедшего через входное окно линейного детектора. Информация выдается на экран специализированного дисплея и может быть передана микроЭВМ для дальнейшей обработки. При ширине окна детектора 25 мм возможно одновременное измерение параметров пяти мембран.

Погрешность определения толщины мембран зависит от: нестабильности блоков толщиномера — источника излучения, измерительного тракта и т.д.; непостоянства свойств контролируемого объекта; статистического характера полученных сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов В.И. Интегральные тензопреобразователи. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 137 с.
2. Bernstein J., Denison M., Greiff P. Optical measurement of silicon membrane and beam thickness using a reflectance spectrometer. — IEEE Transactions on ed. 1988, vol. 35, N 6, p. 801—803.
3. Гущин В.А., Ефанов В.П., Коган М.Р. Определение локального измерения плотности образцов с помощью рентгеновского микроскопа — анализатора МИР-3. — Заводская лаборатория, 1986, № 6, с. 50—52.

РЕНТГЕНТЕЛЕВИЗИОННЫЙ МИКРОСКОП ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СЕМЯН И ЗЕРЕН

канд. физ.-мат. наук А.Е.Оганов

Высокая чувствительность и малая инерционность видикона, разработанного для рентгентелевизионных систем, позволяет наблюдать малоконтрастные объекты.

Рентгенографические исследования внутреннего строения и выполненности семян и зерен сельскохозяйственных и древесных культур, проводимые с помощью малогабаритных микрофокусных излучателей типа РЕИС [1], успешно применяются специалистами семеноведения и селекции растений [2—4]. Однако значительный расход рентгеновской пленки, трудоемкость и длительность получения рентгенограмм существенно сдерживают развитие рентгеновской диагностики семян и зерен.

Замена рентгенографии на рентгентелевизионную регистрацию изображений значительно уменьшит трудоемкость и стоимость рентгеновских исследований семенного материала.

Трудоемкость создания такой системы обусловлена малыми размерами исследуемых объектов, сложностью их геометрической формы, слабым поглощением рентгеновского излучения.

Выпускаемые в настоящее время рентгеночувствительные видиконы непригодны для диагностики семян и зерен, так как имеют неудовлетворительную чувствительность в области излучения (10—25 кэВ), высокую инерционность и явление послеизображения, препятствующие быстрой смене исследуемых объектов.

Для реализации высокочувствительной рентгентелевизионной системы, обеспечивающей экспрессный визуальный контроль внутреннего строения семян и зерен, предложена конструкция рентгеночувствительного видикона [5].

Видикон состоит из рентгенооптического преобразователя, представляющего собой волоконно-оптический концентратор световой энергии, на больший торец которого нанесен слой рентгенолюминофора, а меньший торец соединен с волоконно-оптическим входным окном передающей трубки типа кремникон. Благодаря высокой чувствительности кремникона (около 5000 мкА/лм) и малой инерционности (около 10%), в сочетании с эффективным преобразованием рентгеновского из-

лучения в оптическое при помощи специально подобранного люминофора удалось получить необходимый уровень рентгентехнических параметров. Волоконно-оптический концентратор световой энергии с кратностью 1,5 позволил не только увеличить диаметр рабочей площади (с 18 до 27 мм), но и повысить контрастную чувствительность видикона за счет уменьшения размера оптического изображения, формируемого слоем люминофора при облучении.

Таким образом, рассмотренная конструкция видикона позволяет наблюдать малоконтрастные объекты, которые при непосредственном нанесении люминофора на волоконно-оптическое входное окно практически не различимы.

При изготовлении рентгентелевизионных микроскопов используются концентраторы с высоким значением коэффициента передачи контраста изображения, что достигается использованием конических волокон с двойной светоизоляцией: светоотражающей и светопоглощающей оболочками. Оптимальная передача информационного светового потока от люминофора на кремниевую мишень достигается за счет применения волоконно-оптического входного окна видикона с апертурой,





Оганов Андрей Ервандович, кандидат физико-математических наук, член правления Кабардино-Балкарского областного Совета научных и инженерных обществ СССР. Около двадцати лет работает в области производства и разработок передающих телевизионных приборов для работы в различных спектральных областях. Автор 65 научных работ и одиннадцати изобретений, посвященных конструкции и технологии изготовления передающих телевизионных приборов, созданию технологического оборудования, специальной телевизионной аппаратуры.

равной либо большей, чем выходная апертура концентратора.

В разработанном рентгенотелевизионном микроскопе для диагностики семян и зерен в качестве источника рентгеновского излучения использован (см. рисунок) излучатель «РЕИС-И» производства ОКБ рентгеновских приборов объединения «Светлана», г. Ленинград.

Замкнутая телевизионная система микроскопа выполнена на основе установки ПТУ-50, разработанной в НПО «Волна», г. Новгород.

Конструкция рабочей камеры микроскопа предусматривает загрузку кассеты с пятнадцатью гнездами для размещения образцов, а также вертикальное перемещение ТВ камеры с рентгеновским регистратором и источника излучения относительно исследуемых образцов. Кроме того, предусмотрено угловое перемещение источника излучения для обеспечения просмотра образцов под различными углами падения излучения.

С помощью рентгенотелевизионного микроскопа определяется жизнеспособность и травмированность семян сельскохозяйственных и древесных культур; степень зараженности семян и растений вредителями; полиэмбриония зародышей семян. Прошедшие контроль семена и зерна не теряют своих свойств и могут быть использованы для посева. Рентгеновское теневое изображение

внутреннего строения семени на телевизионном экране позволяет мгновенно оценить его качество и всхожесть, в то время как при получении рентгенограмм необходимо время на экспозицию 1—8 мин и обработку пленки.

Предлагаемый рентгенотелевизионный микроскоп может быть с успехом применен для получения информации о выполненности семян и наличии внутренних повреждений, для определения полиэмбрионии зародышей семян для изучения географических отличий, в карантинной службе для обнаружения зараженности и вредителей, поражающих внутреннюю часть семян при слабо выраженных внешних признаках.

Рентгенотелевизионный микроскоп может также быть использован для исследования жизнедеятельности и строения слабопоглощающих малоконтрастных биологических объектов.

Основные характеристики рентгенотелевизионного микроскопа

Контрастная чувствительность	5%
Разрешающая способность	не менее 15—20 пар линий/мм
Инерционность спада тока сигнала в одном кадре	не более 15%
Диаметр рабочей площади входного окна рентгенотелевизионного регистратора	27 мм
Темновой ток рентгенотелевизионного регистратора	не более 5 нА
Диапазон ускоряющих напряжений	12—30 кВ
Ток луча, максимальный	100 мкА
Размер диагонали телевизионных экранов	500 и 230* мм
Напряжение питания	220 В 50 (Гц)
Потребляемая мощность	75 А · В
Телевизионное увеличение	5—15 раз
Занимаемая площадь	3 м ²
Масса	150 кг

* Телевизионный экран с диагональю 230 мм оборудован фотопроставкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. И о ф ф е Ю.К. Портативные микрофокусные рентгеновские излучатели и аппараты.— Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы. 1987, вып. 2, с. 16—23.
2. З а й ц е в В.А., Р е д ь к и н а З.В. Перспективы рентгенографии в диагностике семян.— Селекция и семеноводство, 1981, № 7, с. 37—38.
3. А р х и п о в М.В. Рентгенографический метод выявления и количественной оценки внутренних микроповреждений семян.— Труды Международного симпозиума по посевному материалу.— Галле (ГДР), 1986, т. 1, с. 196.
4. З а й ц е в В.А. Оценка качества семян методом рентгенодиагностики.— Материалы научно-практической конференции «Рентген-1» (8—12 октября, г. Нальчик).— Нальчик: КБ ОП СНИО СССР, 1989, с. 22—28.
5. О г а н о в А.Е. Дюймовый рентгеновидикон с увеличенной площадью мишени для работы в области излучения 10—30 кэВ.— Материалы научно-практической конференции «Рентген-1» (8—12 октября 1989 г., г. Нальчик).— Нальчик: КБ ОП СНИО СССР, 1989, с. 100—107.

Статья поступила 18 января 1991 г.

ВИДИКОН ДЛЯ ЭКСПРЕССНОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОПОГРАФИИ КРИСТАЛЛОВ

канд. физ.-мат. наук А.Е.Оганов,
канд. физ.-мат. наук К.Т.Аветян

Рентгеновидикон с созданной мишенью, способной, как фотопластина, накапливать действие излучения, позволяет получать качественное изображение топограмм при очень малых интенсивностях рентгеновского излучения.

Телевизионные визуальные методы [1—4] значительно уменьшают время и трудоемкость при регистрации рентгенотопографических картин. Рентгенотелевизионная система на основе передающих трубок типа видикон — наиболее простая в управлении, малогабаритная и дешевая [5]. Серийно выпускаемые рентгеновидиконы ЛИ417, ЛИ444, ЛИ473 с мишенью на основе слоев аморфного селена и его сплавов [6], успешно используются для дефектоскопического контроля, недостаточно чувствительны для наблюдения топограмм. Рассмотренный в работе [7] видикон превышает по чувствительности серийно выпускаемые и позволяет наблюдать дефекты кристаллов, имеющие высокую интенсивность отраженного рентгеновского излучения, но при этом не различает отдельные дислокации.

Рассмотрим возможность повышения чувствительности мишеней рентгеновидиконов. Разность токов, протекающих через облучаемый и необлучаемый участки мишени, образует видеосигнал I_c :

$$I_c \sim (\sigma_x - \sigma_t) \sigma_t, \quad (1)$$

где σ_x — проводимость облучаемого участка мишени, σ_t — проводимость необлученного.

При времени облучения, значительно большем времени релаксации носителей, величина видеосигнала (1) может быть представлена как [7]:

$$I_c \sim \exp(\eta \cdot \tau \cdot A), \quad (2)$$

где η — квантовый выход внутреннего фотоэффекта, τ — время релаксации носителей, A — постоянная величина. Таким образом, увеличение тока сигнала возможно путем изменения двух независимых параметров, квантового выхода и времени релаксации носителей [8].

Рассмотрим возможность создания мишени рентгеновидикона, обладающей способ-

ностью накапливать действие излучения в процессе сканирования отраженным от исследуемого кристалла рентгеновским пучком. Известно, что активация парами ртути значительно повышает чувствительность слоев сплава селен-мышьяк в рентгеновской области спектра, а также наблюдается возрастание времени жизни генерированных рентгеновским излучением носителей [9].

Для реализации рентгеновидикона, способного с чувствительностью на уровне фотопластин регистрировать рентгенотопографические картины за счет накопления действия излучения, предложена двуслойная мишень. Первый слой на входном окне видикона из сплава селен-мышьяк, легированного кислородом, активируется ртутью. Для увеличения эффекта накопления на него наносится второй высокоомный полупроводниковый слой.

При наблюдении топограмм входное окно видикона сканируется отраженным от исследуемого кристалла рентгеновским пучком. Способность мишени аналогично фотопластине накапливать действие излучения позволяет получать качественное изображение топограмм при очень малых интенсивностях рентгеновского излучения: $\sim 10^7$ квант/(см²·с), при этом время формирования изображения топограмм зависит от интенсивности отраженного рентгеновского излучения и состав-

Основные рентгенотехнические параметры видиконов для экспрессной визуальной рентгеновской топографии кристаллов

Рентгенотехнический параметр	Результаты измерения		
	Образцы		
	1	2	3
Ток сигнала, мкА	0,12	0,11	0,15
Контрастная чувствительность, %	1,0	3,0	1,5
Разрешающая способность в центре, (пар. линий)/мм	25	20	25
Время уменьшения тока сигнала при работе в режиме накопления до величины 0,5 I_c исход. (после прекращения облучения мишени видикона), мин	1,5	1,0	1,75



Рис. 1. Топограммы монокристалла кварца, полученные методом Ланга. Рефлекс (1011). Режим рентгеновской трубки БСВ-19Мо: $U_a = 40$ кВ, $I_a = 40$ мА; а — полученная на рентгеночувствительной пленке, время экспозиции 60 мин; б — полученная на экране ВКУ установки визуализации рентгенотопографических картин ТУР-1 при помощи описанного рентгеновидикона. Время формирования изображения 2 мин



Рис. 2. Топограмма кристалла LiF, полученная на экране ВКУ установки ТУР-1 при помощи описанного рентгеновидикона методом Ланга. Время формирования изображения — 30 с. Режим рентгеновской трубки БСВ-19Мо: $U_a = 40$ кВ, $I_a = 18$ мА

ляет 0,5—3 мин. Чувствительность рассмотренного рентгеновидикона позволяет осуществлять экспрессную визуальную топографию кристаллов с применением маломощных (1,2—1,8 кВт) рентгеновских источников. Время получения качественного изображения топограммы может быть уменьшено путем прекращения сканирования мишени рентгеновидикона электронным пучком в процессе накопления действия излучения. Основные рентготехнические параметры рентгеновидикона для регистрации топограмм приведены в таблице. Измерения параметров проводились на установке испытаний видиконов типа «Хром». Источник излучения рентгеновская трубка 0,3БПВ6-150 ($U_a = 40$ кВ, $I_a = 2$ мА). Контрастная чувствительность оценивалась канавочным тестом толщиной 15 мм, выполненным из алюминия, ток сигнала измерялся от 50% дефектоскопического контраста. На рис. 1 и 2 представлены топограммы кристаллов кварца и LiF, полученные с применением разработанного видикона.

Анализ полученных данных показывает, что рентгеновидикон позволяет получить видеоизображение топограмм достаточно высокого качества, сравнимого с фотографиче-

ским, и превышающее по информативности снимки топограмм, приведенные в [3].

Авторы благодарят профессора Ереванского Государственного университета Безирганяна П.А. за сотрудничество в работе по созданию телевизионных регистраторов для экспрессной визуальной топографии кристаллов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аветян К.Т., Безирганян П.А., Новоселов В.П. Рентгеновизуальная система визуализации дефектов в искусственных кристаллах кварца. — Тезисы докладов II Всесоюзного совещания по методам и аппаратуре для исследования когерентного взаимодействия излучения с веществом (21—24 сентября 1982 г., Ереван). — М.: ВНИИФТРИ, 1982, с. 115.
2. Аветян К.Т., Безирганян П.А., Оганов А.Е. Система визуализации рентгенодифракционных изображений на базе маломощного стандартного источника рентгеновского излучения. Тезисы докладов Всесоюзного совещания «Визуализация рентгенодифракционных изображений дефектов в кристаллах» (10—16 октября 1983 г., Ереван). — М.: ВНИИФТРИ, 1983, с. 10—12.
3. А.с. 611142 (СССР). Установка для рентгеновской топографии монокристаллов/С.А.Шабоян и др. — Оpubл. в Б.И., 1978, № 22.
4. A new high-resolution pickup tube for live X-ray topography/T.Kawamura, T.Kuriyama, T.Yamamoto et al. — NHK Laboratories Note. December 1984, Serial N 309, — 12 p.
5. Гершберг А.Е. Передающие телевизионные трубки с внутренним фотоэффектом. — Л.: Энергия, 1973. — 255 с.
6. А.с. 531217 (СССР). Мишень передающей рентгеновской трубки/В.А.Завьялов. — Оpubл. в Б.И., 1975, № 37.
7. Оганов А.Е. Экспериментальный рентгеночувствительный видикон с мишенью на основе селенида кадмия. — Электронная техника. Сер. 4. Электровакuumные и газоразрядные приборы, 1988, вып. 2, с. 32—35.
8. Аветян К.Т., Джотян А.П., Оганов А.Е. Физические основы работы видиконов для длинноволнового рентгеновского излучения малой интенсивности. — Ученые записки Ереванского Государственного университета. Сер. Физика, 1981, № 3, с. 71—77.
9. Оганов А.Е., Петросян В.Г. Влияние активации ртутью на фотопроводимость слоев SeAs:O_2 в рентгеновской области спектра. — Физика—Химия межфазных явлений. Межведомственный сборник научных трудов. — Нальчик: КБГУ, 1986, с. 243—245.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ И МАЛОГАБАРИТНЫЕ МИКРОФОКУСНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А.И.Боровской, Г.А.Шукин

В годы первой мировой войны поставка из Германии рентгеновских трубок была прекращена. В эти же годы в Петербурге в мастерской Н.А.Федорицкого проводился ремонт этих трубок и были созданы первые отечественные ионные рентгеновские трубки.

В разработке новых приборов участвовали ученые Петербургского политехнического института, впоследствии академики, А.А.Чернышев и В.Ф.Миткевич. Мастерская постепенно расширилась в фабрику и с 1922 г. вошла в состав Электровакuumного завода.

Разработка и промышленное производство рентгеновских трубок на заводе «Светлана» с 1928 г. осуществлялись отраслевой вакуумной лабораторией во главе с будущим академиком С.А.Векшинским. В этой лаборатории работал Ф.Н.Хараджа, впоследствии профессор ЛЭТИ им. В.И.Ульянова (Ленина) и первый руководитель кафедры рентгеновских приборов. Под его руководством были созданы первые отечественные рентгеновские трубки для медицинских целей. В довоенное время серийно выпускалось только 6 типов этих трубок.

В 1949 г. был создан завод рентгеновских приборов (ЗРП) на базе фабрики «Красный Водник». До 1955 г. новые разработки проводились в рентгеновской лаборатории завода «Светлана» под руководством инженера М.И.Теумин при непосредственном участии сотрудников Рентгеновской кафедры ЛЭТИ им. В.И.Ульянова (Ленина). После передачи рентгеновской лаборатории на ЗРП было организовано ОКБ рентгеновских приборов.

За 41 год существования предприятия номенклатура выпускаемых рентгеновских трубок расширялась в зависимости от потребностей народного хозяйства и в настоящее время охватывает практически все области применения рентгеновских приборов: медицина, промышленная дефектоскопия, структурный и спектральный анализ, управление технологическими процессами, сельское хозяйство, научные исследования и др.

В настоящее время количество выпускаемых типов приборов составляет более 100 наименований. Наличие опытной и научной базы, а также продол-



Боровской Александр Иванович – главный инженер ЛОЭП «Светлана», лауреат Государственной премии СССР, заслуженный работник электронной промышленности СССР.

За 30 лет работы прошел путь от инженера до главного инженера объединения. Автор ряда публикаций в научно-технических журналах. Большой экономический эффект дало внедрение в производство его изобретений и изобретений.

В начале 70-х гг. А. И. Боровской возглавил работы по конструированию, разработке и внедрению технологий производства ИС. Серии 100, 500, 700, 533, 559 для ЭВМ и персональных компьютеров, оригинальные ИС серии 590, созданные при его личном участии, нашли самое широкое применение.

Много внимания А. И. Боровской уделяет внедрению в производство новых изделий и технологий, особенно экологически чистых и безотходных.

жающиеся тесные связи с кафедрой Рентгеновских и электронно-лучевых приборов ЛЭТИ им. В.И.Ульянова (Ленина) позволяют оперативно создавать и осуществлять поставку опытных образцов новых приборов, в т.ч. и на экспорт.

Выпускаемые объединением «Светлана» рентгеновские приборы условно можно разделить на 7 основных классов:

- рентгеновские трубки для медицины,
- рентгеновские трубки для дефектоскопии,
- рентгеновские трубки для структурного анализа,
- рентгеновские трубки для спектрального анализа,
- импульсные рентгеновские трубки,
- бетатронные ускорительные камеры,
- рентгеновские портативные излучатели и аппараты.

Рентгеновские трубки для медицины.

В современной лучевой медицинской диагностике применяют как рентгеновское излучение, так и другие виды электромагнитных волн и упругих колебаний, на основе которых в последние два десятилетия разрабатываются методики и оборудование. Однако рентгенодиагностика существенно превосходит их по пространственной разрешающей способности. На долю медицинской рентгенодиагностики в странах Центральной и Западной Европы приходится не менее 70—80% исследований [1].

В Советском Союзе ежегодно выпускаются 1600 рентгенодиагностических комплексов и около 40000 находится в эксплуатации. Кроме того, выпускается около 1000 палатных аппаратов, 600 флюорографов, 600 дентальных аппаратов, 350 маломощных микрофокусных маммографических аппаратов «Электроника» и 150 микрофокусных аппаратов «Электроника-100Д». Аппаратура для специальной рентгенодиагностики крупными партиями не выпускается. Существует острая нехватка аппаратуры специализированного назначения для ангиографии, урологических исследований, ортопантомографии, рентгенологического контроля при хирургических операциях, стационарной комплексной маммографии [1].

Рентгеновские трубки для традиционной рентгенодиагностики выпускаются серийно и удовлетворяют потребность рентгеноаппаратостроения и аппаратуры, находящейся в эксплуатации.

Рентгеновские трубки для медицины имеют следующие параметры:

- диапазон рабочих напряжений 10—150 кВ;
- размеры фокусных пятен от 0,04 до 2,0 мм;
- мощность, выделяемая на аноде от 7 Вт до 180 кВт.

Дальнейшее совершенствование данного класса приборов — разработка рентгеновских трубок для специальной диагностики: томография, ангиография, дентальные исследования и др.

Уже созданы первые отечественные рентгеновские трубки с вращающимся вольфрамографитовым анодом на 3000 и 9000 об/мин и вольфрамолибденовым анодом для стационарной маммографии. Проводятся работы по оригинальному прибору с кольцевой разверткой электронного луча для сверхбыстродействующего томографа шестого поколения.

Выпускаются рентгеновские трубки с вращающимся анодом, как серийно, так и опытными партиями (табл. 1). Для передвижной палатной аппаратуры и денталь-

РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Таблица 1

Трубки с вращающимся анодом

Тип трубки	Скорость вращения, об/мин	Размеры фокусного пятна, мм	Диапазон рабочих напряжений, кВ	Номинальная мощность за 0,1 с, кВт
6--10БДВ--125	3000	1.5x1.5 0.8x0.8	40--125	12 7.6
24--60БД16--150	9000	1.2x1.2 0.6x0.6	40--150	100 30
12--100БД20--150	9000	1.2x1.2 0.3x0.3	40--150	100 12
2.5--50БД21--150	3000	2x2 0.3x0.3	40--150	50 2.5
20--50БД22--150	3000	2x2 1x1	40--150	50 20
11--18БД26--125	3000	1x1 0.6x0.6	40--125	18 11
2.5--30БД29--150	3000	1.2x1.2 0.3x0.3	40--150	30 2.5
2.5--2.5БД30--50	3000	0.3x0.3	20--50	2.5
15--25БД31--125	9000	1x1 0.6x0.6	40--125	25 15

Шукин Геннадий Анатольевич — начальник ОКБ рентгеновских приборов объединения "Светлана", главный конструктор отрасли, кандидат технических наук, лауреат премии Совета Министров СССР.

При его непосредственном участии разработано и освоено в серийном производстве более 30 новых типов приборов.

Занимается активной научной деятельностью, участник нескольких научно-технических конференций, в том числе одной международной, автор более 40 научных публикаций, 25 изобретений, одной монографии.

В последние годы Г. А. Шукин уделяет большое внимание расширению внешнеэкономической деятельности предприятия. При его содействии установлены контакты с шестнадцатью западными фирмами. в четыре фирмы по контрактам поставляются рентгеновские приборы.



ных аппаратов разработаны и выпускаются ряд малогабаритных рентгеновских трубок со стационарным анодом (табл. 2). Рентгеновская трубка 0,25БДМ17-70 трехэлектродная (с сеточным управлением), что значительно расширяет возможности выбора и автоматизации режимов работы аппаратуры.

Рентгеновские трубки для дефектоскопии. В промышленной дефектоскопии рентгеновские аппараты имеют наибольшее применение по сравнению с другими источниками радиационного контроля (гамма-аппаратами и электронными ускорителями) благодаря возможности широкого регулирования энергии излучения, большой интенсивности рабочего пучка, безопасности работ по обслуживанию и большей мобильности по сравнению с ускорителями [2—4].

Таблица 2

Малогабаритные трубки со стационарным анодом

Тип трубки	Размеры фокусного пятна, мм	Диапазон рабочих напряжений, кВ	Номинальная мощность, кВт
1.6БДМ13-90	1.0	50-90	1.6
3-8БДМ14-110	1.5 2.6	45-110	3.0 8.0
1.3БДМ15-75	0.8	40-75	1.3
0.25БДМ17-70	0.7	50-70	0.25

Данные рентгеновские трубки характеризуются:

- диапазоном рабочих напряжений 60—400 кВ;
- мощностью, выделяемой на аноде, 0,2—4,0 кВт;
- размером фокусного пятна 0,3—4,0 мм.

В последние годы проведены работы по созданию серии металлокерамических рентгеновских трубок, а также серии металлоглазанных трубок, в т.ч. для моноблочных аппаратов с заземленным анодом и воздушным охлаждением для фирмы «Valteau» (Бельгия) на напряжения 160, 200 и 300 кВ. Трубки отличаются уменьшенными габаритами, так как работают в моноблоках серии GF, в которых в качестве изоляции используется элегаз «SF₆» под давлением 4,7 бар [5]. Основные параметры рентгеновских трубок для промышленной дефектоскопии приведены в табл. 3—6.

Разработана и новая группа приборов с растровой и строчной разверткой электронного пучка на 100—200 кВ. На их базе создаются принципиально новые интроскопы с цифровой обработкой информации.

Особо следует отметить серию работ по созданию рентгеновских трубок—излучателей с высокочастотной генерацией высокого напряжения 500, 1000 кВ на основе четвертичных полуволновых резонаторов [6]. Соединение в одном вакуумном объеме рентгеновской трубки, резонатора, а в некоторых

случаях и высокочастотного генератора, обеспечивает 5—10-кратное снижение массогабаритных характеристик аппаратуры по сравнению с традиционным схемным построением.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ

Таблица 3

Металлокерамические рентгеновские трубки

Тип трубки	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, мА	Размеры фокусного пятна, мм	Габаритные размеры, мм
0,6-1.5БПВ27-100	100	6 15	0.4x0.4 1.5x1.5	ø 70x214
1БПВ22-140	140	7	1.0x1.0	ø 106x302
0,64-3.2БПВ26-160	160	4 20	0.4x0.4 3.0x3.0	ø 106x286
НИР	160	4 10	0.4x0.4 1.5x1.5	ø 100x305
1,5-4.2БПМ19-320	320	4.7 13	1.5x1.5 3.5x3.5	ø 157x360
1,5-4.2БПМ20-420	420	4 10	1.5x1.5 3.5x3.5	ø 157x360

Таблица 4

Металлоглазанные рентгеновские трубки для кабельных аппаратов

Тип трубки	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, мА	Размеры фокусного пятна, мм	Угол выхода РИ, град.	Габаритные размеры, мм
Однополюсные (I):					
0.5БПВ26-50	50	10	0.4x0.4	40	ø 42x210
1БПВ15-100	100	10	1.1x1.1	40	ø 50x259
1БПВ17-100	100	10	0.9x4.0	40x360	ø 50x259
1.1БПВ14-160	150	7.3	1.8x1.8	40	ø 80x415
0.3БПВ6-150	150	10	0.3-1.0	55	ø 102x645
1.5БПВ7-150	150	10	5	45x360	ø 102x645
1.5БПВ8-150	150	10	5	60	ø 102x645
Двухполюсные (II):					
4БПМ8-250	250	16	3.8x3.8	40	ø 105x506
1.2-3БПМ5-300	300	10 4	4.0x4.0 1.5x1.5	40	ø 105x395
0.28-3.2БПМ16-320	320	10 4	3.8x3.8 1.1x1.1	40	ø 105x340

Примечания. 1. Фокусное пятно трубки 1БПВ17-100 имеет форму трапеции.

2. Размер фокусного пятна трубки 0.3БПВ6-150 регулируется магнитной фокусирующей системой.

Таблица 5

Рентгеновские трубки для моноблочных аппаратов с высокочастотным преобразованием напряжения

Тип трубки	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, мА	Размеры фокусного пятна, мм	Угол выхода РИ, град	Габаритные размеры, мм
Частотно-импульсное напряжение:					
1БПВ23-100	100	10	1.4x1.4	40	ø 50x258
1БПВ24-100	100	10	0.9x4.0	40x360	ø 50x258
0.48БПК9-160	160	3	1.0x1.0	60	ø 67x189
0.8БПМ14-160	160	5	1.2x1.2	40	ø 70x192
1.6БПК10-200	200	8	2.5x2.5	40	ø 70x208
1.8БПК11-300	300	6	3.0x3.0	40	ø 90x279
1.12БПМ21-320	320	5	1.0x4.0	40x360	ø 101x340
Постоянное напряжение:					
НИР	160	2	0.6x0.6	60	ø 60x222
1.2БПМ15-200	200	6	2.0x2.0	40	ø 80x230

Примечания. 1. В трубках 1БПВ24-100 и 1.12БПМ21-300 фокусное пятно имеет форму трапеции.

2. Габаритные размеры трубок 0.48БПК9-160, 1.6БПК10-200 и 1.8БПК11-300 указаны без цоколя и радиатора.

Таблица 6

Рентгеновские трубки для моноблочных аппаратов с переменным напряжением

Тип трубки	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, мА	Размеры фокусного пятна, мм	Угол выхода РИ, град	Габаритные размеры, мм
0.7БПК2-160	160	0.67	0.9x2.7	40x360	ø 70x258
0.84БПМ18-200	200	0.84	2.0x2.0	50	ø 50x258
0.8БПК5-220	220	0.8	1.6x1.6	40	ø 70x192
0.8БПК6-220	220	0.8	0.4x0.4	30x360	ø 70x192
1БПМ12-300	300	1.0	2.5x2.5	40	ø 80x230

Примечание. В трубках 0.7БПК2-160 и 0.8БПК6-220 фокусное пятно имеет форму трапеции.

Рентгеновские трубки для структурного анализа. Рентгеноструктурный анализ является наиболее распространенным экспериментальным методом исследования атомного строения кристаллических объектов и материалов. Рентгеновские аппараты для структурного анализа условно разделяются на аппаратуру широкого и специального применения. Такое деление на группы относится и к рентгеновским трубкам.

К рентгеноструктурным трубкам широкого применения относится серия мощных трубок, выполненных в едином конструктивном исполнении, с массивным охлаждаемым проточной водой анодом. Все трубки

имеют широкий набор материалов мишеней и стандартный ряд размеров фокусных пятен. По техническим характеристикам трубки не уступают, а по удельным нагрузкам превосходят аналоги зарубежных фирм. В последнее время создана модификация трубки по габаритно-присоединительным размерам под европейский стандарт.

В последние годы значительно расширилась группа приборов специального применения: для измерения напряжения в металлоконструкциях, в т.ч. с охлаждаемым анодом и двумя лучами рентгеновского излучения (БСВ35); мощная трубка БСВ31, работающая в повторно-кратковременном режиме; для дифрактометров с упрощенной рентгенооптической схемой — рентгеновские трубки с встроенным монохроматором (БСВ34, БСВ36). Основные параметры ряда трубок для структурного анализа приведены в табл. 7.

Значительное развитие получила серия микрофокусных рентгеновских трубок для микрорентгенографии, рентгеновской микроскопии и медицинской диагностики. Основной особенностью этого класса отпаянных приборов является относительная простота эксплуатации (по сравнению с импортными разборными системами, работающими с постоянной откачкой) и малые габариты. Дальнейшее развитие этого класса трубок пойдет по пути увеличения мощности за счет применения новых материалов подложки мишени, уменьшения размеров фокусного пятна и расширения диапазона рабочих напряжений до 200 кВ. В табл. 8 приведены основные параметры некоторых трубок этого класса, выпускаемых серийно и опытными партиями.

Рентгеновские трубки для спектрального анализа. Рентгеноспектральный анализ находит большое применение не только в исследовательских, но и заводских лабораториях для контроля состава материалов и оперативного регулирования технологии производства. При этом используются, как правило, многоканальные стационарные спектрометры и малогабаритные переносные приборы (анализаторы). Соответственно и рентгеновские трубки для спектрального анализа условно делятся на две группы: мощные рентгеновские трубки и малогабаритные рентгеновские трубки средней и малой мощности (табл. 9).

Трубки серии БХВ7-12 применяются в многоканальных рентгеновских спектрометрах типа СРМ18, СРМ20. Наибольшее распространение в последние годы получили рентгеновские трубки типа РХВ с защитным кожухом и работающие в схеме с обратной полярностью. Такая конструкция позволяет применять тонкое бериллиевое выходное окно до 150 мкм, что обеспечивает возможность проведения анализа легких элементов.

Разработаны варианты исполнения трубки РХВ для комплектации импортной аппа-

ратуры фирм «ARL» и «Philips». Ведутся исследования по совершенствованию защитного кожуха, уменьшению толщины выходного окна до 125 мкм и повышению рабочего напряжения до 75 кВ. Продолжаются работы по созданию и других мощных трубок, работающих с заземленным охлаждаемым анодом, с защитным кожухом. Среди последних разработок следует отметить трехэлектродную мощную трубку БХВ18 с протяженным фокусным пятном 100 мм. Эта

трубка применяется в рентгенолюминесцентных сепараторах для обогащения алмазосодержащего сырья.

Рентгеновские трубки средней и малой мощности как правило имеют минимальное фокусное расстояние и оригинальную конструкцию под конкретные аппараты.

В настоящее время разрабатывается оригинальная малогабаритная трубка для импортной аппаратуры с «обратной» полярностью питания 0,2БХМ1.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ ДЛЯ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

Таблица 7

Тип трубки	Толщина выходного окна Ве, мм	Размеры действительного фокусного пятна, мм	Материал мишени анода	Номинальная мощность, кВт	Диапазон рабочих напряжений, кВ
БСВ20	0.8	1x10	W, Mo, Cu, Ag	1.5	25–100
БСВ27	0.3	1.6x10	W, Mo, Cu, Cr Ag, Co, Ni Fe V	2.5 2 1.6 1.2	25–60
БСВ28	0.3	1x10	W, Mo Cu, Ag Cr, Co Ni, Fe V	2.4 2 1.8 1.5 1	25–60
БСВ31***	0.3	2x8	Mo, Cu	4.5	30–45
БСВ32	0.2	4x4	Cu, Co, Cr, V, Fe	0.3	10–30
БСВ33	0.3	0.4x1	Mo Cu Cr Co, Fe	0.3 0.2 0.15 0.1	10–30
БСВ34**	0.3	1x10	Cu Cr Fe	2 1.8 1.5	25–60
БСВ21	0.3	0.2x8	W, Mo, Cu, Ag Fe, Co, Ni, Cr	0.8 0.48	25–60
БСВ25	0.3	0.075x2	W, Mo, Cu, Ag Fe, Co, Ni, Cr	0.3 0.15	10–60
БСВ29	0.3	0.4x8	W, Mo Cu, Ag Cr, Co, Ni Fe, V	2.1 1.5 1.3 0.9	25–60
БСВ30	0.3	0.2x4	Co, V, Cr, Fe, Ni W, Cu, Mo	0.3 0.5	30–45
БС14*	0.145	0.2x1	Cu, Fe, Cr	0.0024	12
БСВ35***	0.3	0.2x2	V, Cr, Cu, Co, Mo	0.6	20–30
БСВ36	0.3	0.1x1	Mo, Cu Co, Fe, Cr	0.15 0.075	10–45
БС12	0.3	0.2x12	V, Co, Mo Cu, Cr, Fe	0.05 0.05	20–30

Примечания: * – охлаждение воздушное; ** – трубка с монохроматором; *** – режим работы трубки – повторно-кратковременный; **** – двуханодные трубки.

МИКРОФОКУСНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ

Таблица 8

Тип трубки	Толщина выходного окна Be, мм	Размер действительного фокусного пятна, мм	Материал мишени анода	Номинальная мощность, кВт	Диапазон рабочих напряжений, кВ
BC1	0.5	0.1* 0.4**	Cu, Re, Ag, Mo Cr Cu, Re, Ag, Mo Cr	0.0045 0.0023 0.0023 0.0012	25–45
BC5	0.145	0.002***	Cu, W	0.0006	10–30
BC6	0.5	0.1* 0.02**	Re, Mo, Cu, Ag	0.005 0.002	80–100
BC7	0.145	0.001****	W	0.00002	0.005
BC10	0.2	0.5* 0.04**	W, Cu, V	0.005 0.0025	7–25
BC11	0.5	0.05**	Cu, Mo, Ag, Re Cr	0.0075 0.0035	15–50
BC15	0.5	0.1* 0.02**	Re, Cu	0.0075 0.0025	50–150
BC13	0.2	0.005*** 0.05***	Cu, Ti, W, Mo, Cr	0.001 0.006	60

Примечания: * – с электростатической фокусировкой; ** – с электростатической и магнитной фокусировкой; *** – с электростатической и электромагнитной фокусировкой; **** – игольчатый анод: трубка выпускается в двух конструктивных исполнениях.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА И РАДИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Таблица 9

Тип трубки	Толщина выходного окна Be, мм	Размер действительного фокусного пятна, мм	Материал мишени анода	Номинальная мощность, кВт	Диапазон рабочих напряжений, кВ
БХВ13	0.2	кольцевое шириной 6	Cr, Pd	1.75	10–25
БХВ17	0.15	1.0	Pd, Re Cr	0.24 0.16	30–60
БХВ18	1.0	100	Re	4** 16***	30–40
РХВ2	0.145	кольцо $\varnothing$ 12	Rh, Re Cr	3.0 2.5	30–60
РХВ3	0.145	кольцо $\varnothing$ 12	Rh	3.0	30–60
БХ6*	0.2	02.2	Ag (0.8–1.1)	0.0025	10–25
БХ7*	0.2	01.2	Ag (2.2–2.8) V (3.2–3.8) W (1.2–1.8)	0.01	20–50
БХ9*	0.2	2.0	Cu, Ge, Ag, Mo, W	0.012	20–50

Примечания: * – анод прострельного типа; ** – в длительном режиме; *** – в повторно-кратковременном режиме.

Импульсные рентгеновские трубки. Этот класс рентгеновских трубок, применяемых в современной аппаратуре, разделяется на два подкласса: с холодным катодом, работающим в режиме автоэлектронной или взрывной эмиссии, и с термокатодом. Приборы с холодным катодом обычно имеют большую и среднюю мощность микро- и наносекундного диапазонов. Рентгеновские трубки с термокатодом, в основном трех-электродные, с сеточным управлением применяются в аппаратуре относительно небольшой мощности, но с большей длительностью импульсов (до десятков и сотен микросекунд) и частотой их следования.

Так как импульсные рентгеновские приборы средней и малой мощности имеют как правило относительно малые габариты и вес, то в основном они применяются при исследовании быстропротекающих процессов в оптически непрозрачных средах и дефектоскопии в нестационарных условиях.

Основные параметры некоторых типов импульсных рентгеновских трубок с термокатодом приведены в табл. 10. Дальнейшее развитие этих приборов идет по пути повышения мощности, долговечности и уменьшения фокусного пятна. При этом будут

созданы приборы на более высокие напряжения — до 400—500 кВ. Эта группа приборов перспективна в различных областях применения, особенно при разработке новой серии аппаратов типа РАПАН.

В табл. 11 приведены параметры наиболее перспективных типов импульсных рентгеновских трубок с холодным катодом. Проводятся работы по созданию более мощных приборов и с уменьшенным фокусным пятном, что позволит улучшить разрешающую способность аппаратуры.

На основе импульсных рентгеновских трубок с холодным катодом создана группа импульсных приборов с электронным пучком (электронные трубки).

Электронные трубки применяются, как правило, в качестве источников электронов для технологических целей или как инжектор для других электронных приборов. В табл. 12 приведены параметры трех типов приборов из этой группы.

Развитие импульсной рентгентехники в ближайшие годы получит дополнительное ускорение за счет создания высокочувствительных рентгеновских датчиков и совершенствования методом цифровой обработки информации.

ИМПУЛЬСНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ

Таблица 10

Управляемые трубки с термокатодом

Тип трубки	Напряжение трубки, кВ	Анодный ток в импульсе, А	Средняя мощность трубки, Вт	Габаритные размеры, мм
РТИЗ-0,1	100	0.001	10	ø 30x104
РТИ7-0,2	200	0.5	40	ø 30x120
РТИ8-0,25	250	3.5	100	ø 40x150
РТИ10-0,2	200	1.0	160	ø 40x160
РТИ11-0,15	150	0.5	63	ø 30x140

Таблица 11

Трубки с холодным катодом

Тип трубки	Напряжение трубки, кВ	Диаметр фокусного пятна, мм	Экспозиционная доза излучения за 1 импульс		Аппарат применения
			мР, не менее	расстояние, мм	
ИМА2-150Д	140-170	2.3	30	50	МИРА2
ИМА5-320Д	190-240	2.3	50	50	МИРА3
ИА8	450-750	3.0	15	250	ПИР600М
ИА10	300	4.6	40	750	РИТМ1
ИА11	900-1100	3.0	50	250	КАВКАЗ3300
					ПИР1200

Таблица 12

Импульсные электронные трубки с холодным катодом

Тип трубки	Напряжение трубки, кВ	Энергия электронного пучка, Дж	Размер окна трубки, мм	Фильтр окна трубки	Аппарат применения
ИМАЗ-150Э	140-170	0.1	∅ 14	Be ≠ 0.2	МИРА2
ИА9	900-1100	2.5	∅ 52	Ti ≠ 0.05	МИН1
ИА13	190-240	0.06	80x80	Ti ≠ 0.05	НОРА*

Примечание: * — с "обратной" полярностью.

Бетатронные ускорительные камеры. Эти приборы применяются в качестве источников жесткого рентгеновского излучения для дефектоскопии больших толщин материалов и конструкций, а также для специальной медицинской терапии.

В настоящее время выпускаются камеры семи типов на напряжения от 3 до 35 МэВ. (табл. 13). Дальнейшее развитие этого класса приборов — увеличение напряжения инжекции и создание камер специального применения.

Таблица 13

РЕНТГЕНОВСКИЕ БЕТАТРОННЫЕ КАМЕРЫ

Тип прибора	Энергия ускорения электронов, МэВ	Напряжение инжекции, кВ	Мощность дозы на расстоянии 1 м от мишени, Р/мин, не менее	Частота, с ⁻¹
РБК8-4	4	40	2 (тормозное)	200
БУК-6	6	35	0.3 (тормозное)	50
РБК7-18	18	60	4.5 (тормозное)	150
РБК2-25Э	25	70	70 (тормозное) 1000 (электр.)	50
РБК4-35	35	100	450 (тормозное)	50
РБК10-30Э	30	320	450 (электр.)	3
РБК11-10	10	85	10	100

МИКРОФОКУСНЫЕ МАЛОГАБАРИТНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ И АППАРАТЫ

Таблица 14

Тип прибора	Диапазон рабочих напряжений, кВ	Размер фокусного пятна, мкм	Мощность на аноде, Вт	Масса пульт/моноблок, кг	Материал мишени трубки
РЕИС-25И	7-25	40/100	2.5/5	4/2.5	V, Cu, W
РЕИС-И	15-45	35/100	2.3/4.5	4/4.5	Cu, Ag, Cr, Re
РЕИС-100И	40-100	20/100	2.5/5	4/6	Cu, Mo, Ag, Re
РЕИС-50И	15-50	50	7.5	4/4	Cu, Mo, Ag, Re, Cr
РЕИС-150И	50-150	20/100	2.5/7.5	4/9	Mo, Re, Ag, Pd
"Электроника-25"	7-25	30	2.5	4/16*	
Маммограф					
"Электроника"	28-40	50	6	4/25*	Mo
"Электроника-100Д"	40-100	40	7.5	4/20*	
РЕИС-25КН	7-25	500	5.0	4/4	

Примечание: * — масса моноблока, штатива и приспособлений.

Рентгеновские портативные излучатели и аппараты. Одним из новых перспективных направлений развития рентгеновского приборостроения в объединении является разработка и промышленный выпуск малогабаритных микрофокусных рентгеновских излучателей и аппаратов. Основными особенностями этого класса приборов являются: высокая разрешающая способность, возможность получения снимков с прямым рентгеновским увеличением до 50—20 раз, безопасность эксплуатации и возможность питания от сети 220 В и аккумуляторов 24 В (табл. 14). Эти приборы уже сегодня широко применяются в медицинской диагностике, микродефектоскопии, научных исследованиях и других областях.

Развитие этого класса приборов идет по пути создания серии аппаратов и излучателей нового поколения с учетом повышенных требований к эргономике, эстетике, изменений комплектации и требований европейских стандартов. Будут созданы излучатели до 60 кВ с мощностью до 50 Вт при обеспечении длительной стабильности рентгеновского излучения не хуже 0,2%. Продолжаются работы по совершенствованию первого отечественного маммографа «Электроника». Ведутся работы по созданию

комплекса: микрофокусный излучатель — система визуализации. Новым направлением является также разработка излучателей до 200 кВ на основе высокочастотной резонаторной рентгеновской трубки.

Микрофокусные малогабаритные излучатели для медицины и дефектоскопии пользуются повышенным спросом у ряда зарубежных фирм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физико-техническое обеспечение лучевой диагностики и терапии/ Н.Н.Блинов, А.М.Гурвич, В.А.Костылев, Б.И.Леонов.— Медицинская радиология, 1990, № 10, т. 35, с. 16—21.
2. К л ю е в В.В., Л е о н о в Б.И., Г у с е в Е.А. Промышленная интроскопия.— М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Г р о м о в Е.В., Г у с е в Е.А., Т в е р д о х л е б о в В.Н. Промышленная рентгеновская аппаратура.— Приборы и системы управления, 1989, вып. 5, с. 33—34.
4. И в а н о в С.А., Ш у к и н Г.А. Рентгеновские трубки технического назначения.— М.: Энергоатомиздат, 1989.
5. Baltospot panoramic and directional X-ray generators GF. Проспект фирмы «Balteau» Бельгия, 1988.
6. Сверхвысокочастотный импульсный рентгеновский аппарат/ С.А.Иванов, В.С.Понасик, Н.Н.Потрахов и др.— Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы, 1987, № 2, с. 27—29.

Статья поступила 31 января 1991 г.

Видеотерминалы CM7238 (ANSI TERMINAL) в многопользовательских системах на базе ПЭВМ (IBM PC/XT, IBM PC/AT, SUPER AT)

обеспечивают

- одновременную работу нескольких пользователей в среде MS DOS или ДИАМС
- возможность создать локальный вычислительный центр
- решение многих проблем с минимальными затратами

ВИДЕОТЕРМИНАЛЫ CM7238 — это отличные рабочие места в системах на базе CM ЭВМ (VAX/VMS, ОС РВ, ДИАМС и др.), которые могут быть удалены от ПЭВМ на 2 км.

Обращайтесь по адресу:

286100, г. Винница, ул. 600-летия, 17

 4-75-00, 6-42-95

МОЩНЫЕ ИСТОЧНИКИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДЬЮ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Б.В.Артемов, В.М.Барабанов, В.Д.Корнеев,
А.П.Мусатов, канд.техн.наук Ю.Д.Степанов

В широко используемых рентгеновских аппаратах необходимую разрешающую способность создают источники рентгеновского излучения с минимальной областью излучения. В то же время для газовых лазеров был создан импульсный источник рентгеновского излучения большой интенсивности (0,1—1,0 Дж/имп), способный равномерно ионизировать протяженные рабочие объемы газовых лазеров. При этом размер области излучения мишени был равен поперечному сечению обрабатываемого объема (500 см²). Такие приборы были созданы на основе имевшегося задела опытных ускорителей прямого действия, генерирующих пучки большого сечения (табл. 1). На основе одного из таких источников созданы эксимерные лазеры ультрафиолетового диапазона с энергией в импульсе 2—5 Дж.

Однако область использования таких источников рентгеновского излучения может оказаться значительно шире и они могут широко применяться в радиационной технологии, где традиционно используются радионуклиды ⁶⁰Со и ¹³⁷Cs. Несмотря на то, что удельная мощность излучения вакуумного источника рентгеновского излучения в 6—7 раз меньше, чем у радионуклидного источ-

ника (1 Вт/кв. см)*, они имеют существенные преимущества:

— возможность в любой момент выключения излучения,

— малая энергия квантов излучения позволяет получить в легких материалах (водные растворы, полиэтилен) большую дозу при одинаковой излучаемой мощности,

— более легкая местная защита от ионизирующего излучения.

Конструктивно вакуумные источники рентгеновского излучения выполнены в корпусе из нержавеющей стали с керамическими выводами. Приборы импульсного режима имеют безнакальный взрывоэмиссионный катод из графита. В приборе непрерывного режима расширяющийся пучок формируется катодно-сеточным узлом с термокатодом. Ресурс взрывоэмиссионного катода — 10⁷ импульсов, термокатада — не ниже 500 часов. Мишень воспринимающая электронный поток и гене-

Таблица 2

Объект обработки	Необходимая поглощенная доза, Гр	Производительность установки мощностью 100 Вт, кг/ч
Предпосевная обработка семян	до 40	18 · 10 ³
Облучение картофеля и лука перед хранением от прорастания	до 150	2,4 · 10 ³
Обработка пищевых герметизированных полуфабрикатов для увеличения времени хранения	до 1000	360
Обработка продуктов птицеводства (против бактерий сальмонеллы)	3 · 10 ³	120
Стерилизация сточных вод — только от бактерий кишечной палочки	25 · 10 ³	14,5
Стерилизация мед-инструмента	3 · 10 ³	120
Сшивание полиэтилена	25 · 10 ³	14,5
	(50—250) · 10 ³	7—1,5

Таблица 1

Параметр	Непрерывный режим выводное окно 200х300 мм	Импульсный режим	
		выводное окно 60х800 мм	выводное окно 200х300 мм
Ускоряющее напряжение, кВ	100—130	100	100
Катодный ток, А	0,2—0,3	1000—2000	1000—2000
Длительность импульса, мкс	—	1,0	1,0
Частота повторения, Гц	—	до 100	до 100
Мощность экспл. дозы, кГр/ч	10—20	—	—
Экспозиционная доза за импульс, Р	—	2—5	2—5

* Абрамян Е.А. Промышленные ускорители электронов. — М.: Энергоатомиздат, 1986.

пирующая тормозное излучение, выполнена с хорошим охлаждением, так что ее средняя температура не превышает 60°C, а импульсная 10°C. Наиболее технологичными оказались мишени из золота и вольфрам-рений.

Мощность источника рентгеновского излучения непрерывного режима 100 Вт при подводимой мощности 25 кВт. Такой низкий коэффициент преобразования мощности электронного потока в рентгеновское излучение (0,4%) присущ всем низковольтным (100 кВ) рентгеновским приборам. Тем не менее, на базе таких приборов можно создавать технологическое оборудование, отдельные установки для радиационной обработки материалов. Области применения, необходимые дозы и производительность установки, которая может быть создана на базе источника рентгеновского излучения непрерывного режима, приведены в табл. 2.

Стоимость установки рентгеновского облучения будет определяться как ее функциональным назначением, так и объемом выпуска. Стоимость энергообеспечения одного часа работы 50 коп.

Таким образом, целесообразно применение такой установки для предпосевной обработки семян и облучения картофеля и лука, а также

следует рассмотреть возможность применения указанных доз для подавления бактерий сальмонеллы. Представляется удобным иметь малогабаритную установку для стерилизации медицинstrumenta и перевязочных материалов в отдельных хирургических кабинетах и небольших больницах.

Все вышеприведенные рассуждения относятся и к приборам импульсного режима, однако сейчас нельзя пока говорить о надежном источнике импульсного напряжения, т.к. нет газоразрядного коммутатора на 100 кВ, а на вакуумном коммутаторе схема получается весьма громоздкой.

Таким образом, разработку указанных источников рентгеновского излучения можно считать отправным пунктом для создания установок радиационной технологии на их основе. Однако общая конструкция установки, ее рабочая зона зависит от вида технологического процесса. При разработке специалистами новых технологий авторы статьи готовы изготовить необходимую конструкцию установки.

По всем интересующим вопросам обращаться по телефону 332-95-69. г. Москва

Статья поступила 25 февраля 1991 г.

УДК 621.397.2.037.372

РЕНТГЕНТЕЛЕВИЗИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

канд.техн.наук В.П.Орловский,
канд.физ.-мат.наук А.Е.Оганов,
А.С.Мирзоянц, В.И.Иванов

Разработанная рентгентелевизионная система для исследований оптически непрозрачных малоконтрастных деталей динамических объектов при излучениях с энергией 8—20 кэВ обладает высокой обнаружительной способностью. Система проста в эксплуатации и может использоваться в нестационарных условиях.

К настоящему времени для дефектоскопии выпускается ряд промышленных рентгентелевизионных установок, построенных по традиционным принципам на базе рентгеновидикона (ПТУ-81 и ПТУ-82), или видеокон (ПТУ-83 и ПТУ-85) и супервидео (ПТУ-84 и ПТУ-86), сопрягаемых с РЭОП или флюоресцентным экраном [1].

Разработка люминесцентных экранов, чувствительных к излучениям с энергией 8—20 кэВ, позволила создать новый класс рентгентелевизионных систем [2].

В разработанной рентгентелевизионной системе при непрерывном исследовании динамических объектов на экране ВКУ исследуемый объект облучается постоянным из-

лучением с энергией 8—20 кэВ, теневое изображение которого формируется рентгенолюминесцентным слоем, нанесенным на стекловолоконный диск, стыкованный в свою очередь со стекловолоконной планшайбой суперкремникона. Суперкремникон является наиболее совершенной передающей трубкой с высокоточной чувствительностью, что уменьшает облученность исследуемых объектов. С выхода передающей телевизионной камеры видеосигнал проходит через блок обработки видеосигнала и поступает одновременно на входы видеоконтрольного устройства и видеомagneтoфона для записи на магнитную ленту. С целью повышения контрастной чувствительности рентгентелевизионной системы обработка видеосигнала проводится аналоговыми методами. Этот метод заключается в нелинейном преобразовании сигнала, при котором путем двухстороннего ограничения видеосигнала выделяется градиентный, соответствующий некоторому усредненному значению коэффициента пропускания рентгеновского излучения, и после соответствующего усиления и формирования видеосигнал поступает на ВКУ или видеомagneтoфон. Данная обработка позволяет выделить яркостные перепады до 1/10 от амплитуды видеоимпульсов по всему динамическому диапазону изменений видеосигнала.

Детальное исследование динамических объектов проводится путем анализа отдельных кадров, запоминаемых в блоке цифровой кадровой памяти. Анализ деталей малого размера осуществляют после двух- или четырехкратного увеличения выделенных участков изображения, это обеспечивается соответствующим режимом коммутации элементов блока цифровой и кадровой памяти.

Исследования динамических свойств объектов и быстропротекающих процессов выполняются при облучении коротким импульсом излучения в заданный момент времени. Формирование управляющего импульса осуществляется блоком управления по сигналам синхронизатора, обеспечивающего привязку управляющего импульса к времени обратного хода кадра. Видеосигнал данного кадра изображения преобразуется блоком АЦП в 8-разрядный цифровой код, который в формате 512×512 фиксируется в блоке цифровой памяти. При наблюдении неподвижного изображения запомненного кадра проводится многократное считывание цифрового кода с блока памяти, цифроаналоговое преобразование цифровых кодов в видеосигнал, обработка видеосигнала и воспроизведение изображения на экране ВКУ. Аналогичная процедура выбора кадра и обработки видеосигнала реализуется при воспроизведении видеозаписей, хранящихся на видеокассетах.

Основные особенности построения данной рентгентелевизионной системы связаны с разработкой передающей телевизионной камеры и блока цифровой памяти для запоминания и воспроизведения отдельных кадров изображения.

Используемая передающая телевизионная камера выполнена на основе фотоэлектрического преобразователя свет-сигнал типа суперкремникон ЛИ702, сопряженного встык со стекловолоконным диском, на который нанесен слой рентгенолюминофора типа Р-14, спектр свечения которого расположен в области максимума спектральной чувствительности суперкремникона.

Телевизионная камера является автономной и обеспечивает на выходе полный видеосигнал положительной полярности размахом $1,0^{+0,4}_{-0,3}$ В при работе на коаксиальном кабеле с волновым сопротивлением 75 Ом длиной до 25 м. Стандарт разложения — вещательный при частоте полей 50 Гц и числе строк в кадре — 625. Площадь входного окна — 15×20 мм, диапазон регулировки чувствительности телевизионной камеры не менее 100. Регулировка осуществляется автоматически либо вручную с пульта управления.

Для нормального функционирования телевизионной камеры по соединительной линии связи с пульта управления дополнительно поступают следующие сигналы: постоянное напряжение питания +27 В; РЕЖИМ (бинарный сигнал в уровнях ТТЛ-логики для введения дежурного режима работы камеры);

АВТОМАТ-РУЧНОЙ (бинарный сигнал в уровнях ТТЛ-логики для перевода камеры в автоматический либо в ручной режимы регулировки чувствительности); ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ (постоянное напряжение от 0 до 4 В для дистанционной регулировки чувствительности камеры); ФОКУС (постоянное напряжение от 0 до 4 В для дистанционной электронной подфокусировки изображения в процессе работы).

При работе телевизионной камеры видеосигнал с выхода передающей трубки подается на вход предварительного усилителя. После усиления и коррекции частотных искажений, а также подачи гасящих и синхронизирующих импульсов полный видеосигнал поступает по коаксиальному кабелю на коммутатор. Отклонения электронного луча передающей трубки по вертикали и горизонтали, а также его фокусировка осуществляются фокусирующе-отклоняющей системой (ФОС) типа СФО-2.056. В блоке разверток помимо отклоняющих токов формируется также ток параболической формы частоты полей для обеспечения динамической фокусировки луча в секции считывания суперкремникона.

Формирование токов статистической фокусирующей и корректирующих катушек ФОС, а также напряжения накала передающей трубки осуществляет блок стабилизации режимов ФОС. Для обеспечения дистанционной коррекции электронной фокусировки предусмотрена регулировка тока статической фокусирующей катушки в пределах 3% от номинального значения по сигналу «ФОКУС» с пульта управления.

Узел регулировок и гашения обеспечивает формирование напряжений питания электродов секции считывания изображения супервидикона, а также прерывание процесса коммутации потенциального рельефа с мишени передающей трубки во время обратного хода считывающего электронного луча.

Регулировка чувствительности телевизионной камеры осуществляется за счет изменения вырабатываемого высоковольтным преобразователем напряжения в диапазоне от 1,0 до 10 кВ. Регулировка выходного напряжения высоковольтного преобразователя обеспечивается при изменении управляющего напряжения, которое формируется блоком регулировки чувствительности.

В режиме автоматической регулировки чувствительности данный сигнал формируется при сравнении уровня видеосигнала с выхода предварительного видеоусилителя.

В режиме дистанционной регулировки чувствительности на вход высоковольтного преобразователя поступает сигнал «ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ» с пульта управления.

Синхронность и синфазность работы всех узлов и блоков телевизионной камеры обеспечивает синхрогенератор, который формирует также импульсы для запуска синхронизатора при импульсной работе излучателя.

С целью улучшения электромагнитной

совместимости отдельных узлов и блоков телевизионной камеры блок питания выполнен в виде отдельного модуля, в котором разделены цепи питания предварительного видеоусилителя, блока регулировки чувствительности, и узла регулировок режима передающей телевизионной трубки.

Задержка включения рабочего режима камеры в момент подачи напряжения питания, необходимая для прогрева накала передающей трубки, обеспечивается таймером блока питания, по сигналам которого рабочий режим телевизионной камеры, а следовательно, и все вторичные напряжения на выходах блока питания, формируется не ранее, чем через две минуты после включения накала супервидикона.

Схема памяти представляет собой буфер типа E1E0, выполненный на базе ОЗУ объемом 256×256 (512×512) 8-разрядных слов со схемой управления, обеспечивающей синхронную с телевизионной разверткой запись текущего кадра сигнала с одновременным восстановлением предыдущего кадра.

Функционально схема памяти включает ОЗУ на кадр с входным и выходным буфером; счетчики адресов элемента строки (строк кадра) со схемой ограничения числа элементов в строке (строк в кадре); схему синхронизации, формирующую сигналы управления ОЗУ и тактовые сигналы; АЦП для преобразования видеосигнала в последовательность 8-разрядных кодов.

Таким образом, рассмотренная рентгено-телевизионная система для исследований динамических объектов при излучении с энергией 8—20 кэВ представляет собой портативный комплекс аппаратуры, крайне простой в эксплуатации, который может применяться в нестационарных условиях. Кроме того, структура комплекса и применение простых, но достаточно эффективных мето-

дов обработки видеосигнала, позволяют обеспечить хорошую обнаружительную способность и высокую энергетическую чувствительность системы. Проведенные испытания системы показали, что протяженные детали исследуемых объектов устойчиво обнаруживаются при контрасте до 1%. Энергетическая чувствительность системы более чем в 100 раз выше по сравнению с аналогичной вариконной системой, что обеспечивает возможность регистрации импульсного излучения длительностью до 0,01 с. Возможности рентгено-телевизионной системы могут быть расширены использованием персонального компьютера типа IBM PC, так как блок цифровой памяти, примененный в данной системе, имеет соответствующий режим считывания информации. Система предусматривает возможность обращения к любому из элементов блока цифровой памяти за счет реализации алгоритма увеличения масштаба выделенного участка изображения. Блок управления выбором запрограммирован на увеличение масштаба в 2, 4, 6 и 8 раз произвольного участка, выбираемого в пределах всего телевизионного раstra. Для индикации выбираемого участка на экране ВКУ отображается рамка в виде квадрата, положение которой регулируется оператором с пульта управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка парка телевизионных установок для дефектоскопии нового поколения/В.Н.Михайлов, М.Н.Виноградов, В.И.Абрамов, Я.Ю.Гозман.— Материалы всесоюзной научно-практической конференции «РЕНТГЕН-1», Нальчик, 1990.
2. Люминесценция некоторых оксидных и сульфидных люминофоров при мягком рентгеновском возбуждении/С.С.Галактионов, З.И.Гурецкая, М.П.Давыдова и др.— Труды Химико-технологического института им. Д.И.Менделеева, 1988, вып. 154, с. 43—49.

Статья поступила 29 января 1991 г.

РЕГИСТРАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ФТПН

(ПО МАТЕРИАЛАМ ВСЕСОЮЗНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
"РЕНТГЕН-1", г. Нальчик, 1990 г.)

Для регистрации фотографической и голографической информации были использованы фототермопластические носители информации (ФТПН) [1].

За основу конструкции ФТПН взята многослойная тонкопленочная структура металл-фотополупроводник-термопластик, где в качестве фотополупроводника применяли неорганические полупроводники.

Запись информации проводили в электрическом поле при напряжении на коронаторе 3 кВ, а проявление при температуре 65°C. Воспроизведение информации осуществляли оптическим методом с применением шлирен оптики или через телевизионный слайдопроектор [2].

В качестве источника рентгеновского излучения использовался стандартный

рентгено-телевизионный микроскоп типа МТР-6, в котором вместо телекамеры встраивалась регистрирующая ячейка с ФТПН, снабженная нагревателем и коронатором.

Результаты экспериментов показали, что с помощью ФТПН можно зарегистрировать рентгеновское изображение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг Б.Д., Баратов А.Г. Фототермопластические носители информации.— Электронная промышленность, 1980, вып. 10, с. 12.
2. Баратов А.Г. и др.— Техника кино и телевидения, 1980, № 9, с. 24.

А.Г.Баратов, Г.Г.Хачатурян, А.Г.Ордян

СКБ «ЭЛЕПРИНТ», г. Абовян

КОМПЛЕКС ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.И.Абрамов, Я.Ю.Гозман

Предназначен для отображения и обработки полутонных изображений в системах неразрушающего контроля качества изделий машиностроения и электронной промышленности и может быть использован также для решения задач анализа в медицине, биологии и других отраслях науки.

С целью повышения производительности обработки малоcontrastных изображений, структура построения и аппаратно-программные средства комплекса ориентированы прежде всего на повышение контрастной чувствительности телевизионных систем контроля при дефектоскопическом анализе различных объектов.

Комплекс преобразует видеосигнал, который поступает от передающей телевизионной камеры, в цифровые коды и запоминает их. Для дискретизации входного видеосигнала используется восьмиразрядный аналого-цифровой преобразователь. При этом разрядность слов памяти изображений комплекса равна 16, что позволяет осуществлять накопление видеосигнала с улучшением отношения сигнал-шум или вычитание фона изображения без переполнения разрядной сетки запоминающего устройства.

В качестве датчика телевизионного сигнала может использоваться любая серийно выпускаемая передающая телевизионная камера или телеустановка. Комплекс выполняет запись телевизионного изображения при его представлении как в чересстрочном, так и построчном формате телевизионной развертки с последующей выдачей записанного изображения на черно-белый или цветной монитор в вещательном стандарте.

Комплекс содержит достаточно мощный встроенный контроллер на базе МПК КР1810 с объемом ПЗУ — 32 Кбайт и ОЗУ — 128 Кбайт, что позволяет решать широкий круг задач программно-аппаратной обработки изображений. Кроме того, комплекс можно использовать как центральный в технологических системах неразрушающего контроля. С его помощью осуществляется управление и обмен информацией между составными частями системы, а также вывод информации пользователю в необходимом виде.

Управление комплексом осуществляется с пульта, имеющего функциональную и цифровую клавиатуру. С помощью функциональной клавиатуры производится запуск выполнения выбранных режимов работы или вызов таблиц редактирования режимов, а с помощью цифровой клавиатуры редактируются параметры режимов. Наличие в комплексе электрически программируемого ПЗУ позволяет создавать цепочки последовательно выполняемых функций для решения конкретных технологических задач, что существенно облегчает работу оператора и обеспечивает работу комплекса в автоматическом режиме.

Работа комплекса в интерактивном режиме поддерживается многоуровневым меню и устройством типа "TRACK-BALL", обеспечивающим перемещение рамки, ограничивающей зону анализа, или курсора; формирование замкнутых зон произвольной формы; а также яркостные преобразования с использованием табличных методов и измерение произвольно-ориентированных длин отрезков.

Технические характеристики комплекса

Входные сигналы

Полный телевизионный сигнал размахом $(1,0 \pm 0,3)$ В на нагрузке $(75,00 \pm 3,75)$ Ом с параметрами разложения 625 строк при 25 кадрах в секунду построчно и чересстрочно.

Выходные сигналы

Полный телевизионный сигнал на нагрузке $(75,00 \pm 3,75)$ Ом по ГОСТ 22006-76 625 строк при 25 кадрах в секунду чересстрочно;

Сигналы R, G, B для представления в псевдоцвете размахом $(0,7 \pm 0,1)$ В на нагрузке $(75,00 \pm 3,75)$ Ом; Разрядность АЦП и ЦАП — 8.

Скорость АЦП и ЦАП — 10 Мбайт/с.

Память изображения — два листа $512 \times 512 \times 16$ бит с произвольной выборкой.

Вспомогательная (маркерная) память — шесть страниц $512 \times 512 \times 1$ бит.

Арифметико-логические операции

Накопление, вычитание, а также другие арифметические операции над изображениями в цифровой форме, хранящимися в ОЗУ изображения, или над одним из хранящихся и входным с АЦП в реальном масштабе времени.

Функциональные преобразователи — четыре программируемые просмотрные таблицы поточечного преобразования изображения, в том числе псевдоцвет и бинаризация.

Программное обеспечение

Нормирование входного видеосигнала, гистограммы яркости, преобразования гистограмм, бинаризация, селекция объектов и измерение геометрических размеров, поддержка интерактивного режима, вывод на печать и ПЭВМ, ввод с ПЭВМ.

Интерактивная графика

Управление курсором и формирование произвольных зон с помощью устройства типа "координатный шар" (track-ball);

Рамка изменяемого размера и положения (перемещение с помощью "шара") со считыванием координат границ.

Интерфейсы связи

Интерфейс радиальный последовательный ИРПС.

Интерфейс радиальный параллельный ИРПР.

Совокупность сигналов И41.

Габаритные размеры комплекса $450 \times 450 \times 420$ мм.

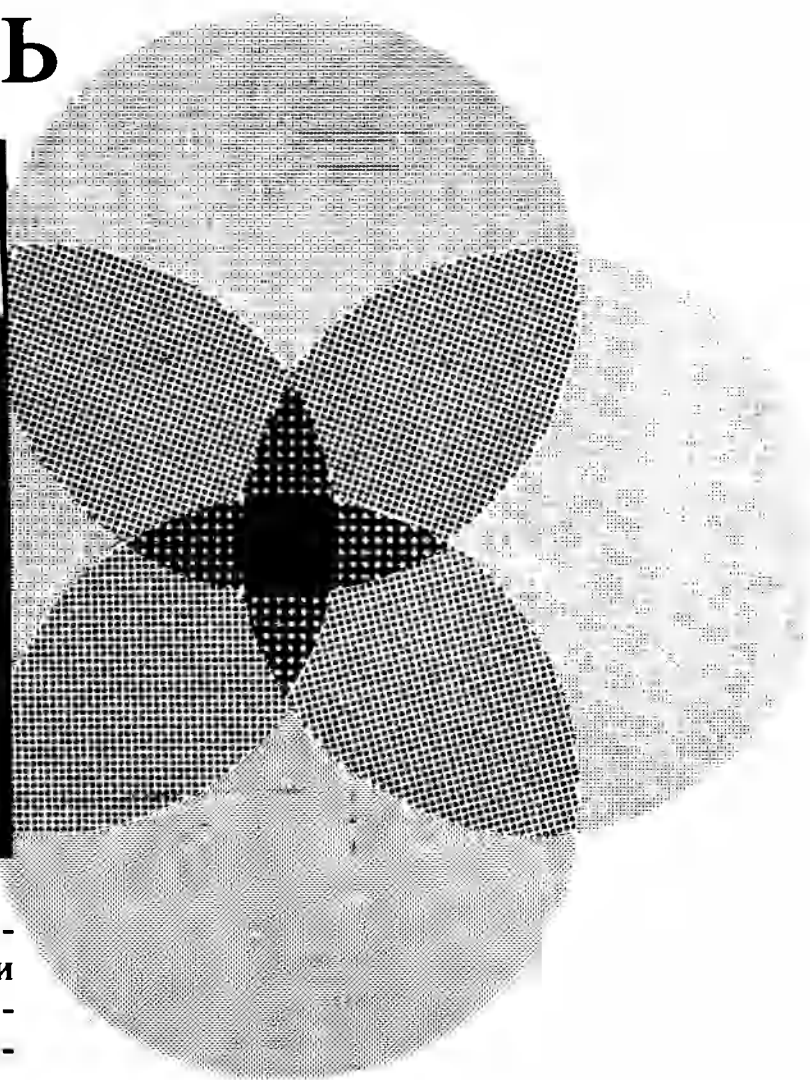
Функции обработки изображения

С помощью имеющихся аппаратно-программных средств комплекс позволяет выполнять:

- коррекцию яркостных искажений;
- гистограммное преобразование яркости хранимых изображений;
- бинаризацию и измерение геометрических размеров параметров объектов;
- пороговую обработку типа брак-годен для изделий;
- вывод результатов обработки изображений в виде таблиц, графиков, гистограмм на экране монитора;
- псевдоцветную раскраску воспроизводимого на экране цветного монитора изображения;
- установление границ интересующего контура на отображаемом объекте с помощью координатного шара и определение геометрических параметров контура;
- программный выбор цветной шкалы псевдораскраски воспроизводимого изображения;
- ввод программных файлов с ПЭВМ;
- вывод результатов геометрических измерений на печать типа "EPSON" и в ПЭВМ по каналу обратного пользования.

Статья поступила 30 января 1991 г.

ИЗМЕРИТЕЛЬ СПЕКТР-М



Предназначен для контроля качества полупроводниковых пластин и технологических процессов формирования СБИС. В состав измерителя входят: ИК спектрофотометр, платы сопряжения и ЭВМ типа ДВК. С помощью программного обеспечения под управлением ОС РАФОС осуществляются следующие функции:

- Oxygen-Carbon Control (определение количества углерода и кислорода по эталону с точностью не хуже 2%);
- Surface Control (качественный контроль поверхности полупроводниковых пластин и отбор по эталону по оригинальному алгоритму);
- PSG Film Analysis (определение фосфора в фосфоросиликатном стекле по калибровочным образцам с точностью не хуже 2%);
- BPSG Film Analysis (определение фосфора и бора в борофосфоросиликатном стекле по калибровочным образцам);
- SG Thickness Determination (определение толщины окисла кремния в диапазоне толщин 0,1—1 мкм с точностью 10%);
- Epi-tayer Thickness Determination (оценка толщины эпитаксиальных слоев в диапазоне 2—80 мкм с точностью до 5% по интерференционным спектрам по оригинальному алгоритму).

Для использования измерителя в исследовательских целях дополнительно поставляются программные средства, осуществляющие: преобразование шкал; алгебраические операции со спектрами и константами (сложение, вычитание, умножение, деление, возведение в степень, вычисление корня, логарифмирование, потенцирование), усреднение спектров; формирование спектра из фрагментов, выделение фрагмента, интерполяция шага, корректировка паспорта и данных; сглаживание полиномиальными фильтрами методом наименьших квадратов и медианными фильтрами; дифференцирование и интегрирование участка спектра; фурье-анализ спектральной кривой; моделирование спектральной кривой функциями Гаусса, Лоренца, косинусоидой, полиномом; «статистику».

Измеритель разработан в Центре автоматизации научных исследований и метрологии (ЦАМ) АН ССРМ (г. Кишинев). Эксплуатируется в НИИ «Пульсар», «Мезон» и др.

На договорных условиях обеспечивается установка комплекса с использованием технических средств заказчика или поставка его в полном комплекте.

Обращаться по телефону (0422) 73-96-86 (Кишинев).