



*I Всероссийская
научно-практическая
конференция производителей
рентгеновской техники*



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
21 НОЯБРЯ 2014

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ЛЭТИ»

*I Всероссийская
научно-практическая конференция
производителей рентгеновской техники*

ПРОГРАММА
И МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

21 ноября 2014 г.

Санкт-Петербург
2014

I Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники. Программа и материалы конференции. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 67 с.

ISBN 978-5-7629-1554-0

ОРГКОМИТЕТ

Кутузов В.М., д.т.н., проф., ректор СПбГЭТУ
Шестопалов М.Ю., к.т.н., доц., проректор СПбГЭТУ по научной работе
Потрахов Н.Н., д.т.н., проф., зав. каф. ЭПУ СПбГЭТУ
Быстров Ю.А., д.т.н., засл. Деят. науки и техн. РФ, проф. каф. ЭПУ СПбГЭТУ
Куликов Н.А., к.т.н., генеральный директор ЗАО «Светлана-Рентген»
Цветков В.И., генеральный директор НПП «Буревестник», ОАО
Блинов Н.Н., д.т.н., директор ЗАО «АМИКО»
Таубин М.Л., д.т.н., г.н.с. ФГУП НИИ НПО «ЛУЧ»
Усачев Е.Ю., к.т.н., директор ИНПЦ СНК
Элинсон М.Б., к.т.н., президент ЗАО «НИПК Электрон»
Грязнов А.Ю., д.т.н., проф. каф. ЭПУ СПбГЭТУ (уч. секретарь конференции)

ISBN 978-5-7629-1554-0

© СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

- 9⁰⁰ - 10⁰⁰** **Регистрация участников, кофе-брейк**
10⁰⁰ **Торжественное открытие конференции:**
Шестопалов М. Ю., проректор СПбГЭТУ
Куликов Н. А., директор ЗАО «Светлана-Рентген»
Попов В. В., президент ОАО «Светлана»
Клевцов В. А., Зам. генерального директора ОАО «Светлана»
Морозов В.Г. , технический директор НПП «Буревестник», ОАО
Мазуров А. И., зам. генерального директора ЗАО НИПК «Электрон»
Потрахов Н. Н., зав. каф. ЭПУ СПбГЭТУ
- 11⁰⁰** Источники питания с импульсным выходом – основа рентгенолюминесцентных сепараторов. Владимиров Е. Н., Казаков Л. В., Лебедева О. К.
- 11¹⁵** Новые рентгеновские трубки ЗАО «Светлана-Рентген» для различных областей использования рентгеновского излучения. Баклин А. С., Валуев Н. Н., Куликов Н. А., Потрахов Н. Н.
- 11³⁰** Единое диагностическое информационное пространство - новое направление развития медицинской радиологии. Дабагов А. Р.
- 11⁴⁵** Разработки ИНПЦСНК в области радиационного контроля. Усачёв Е.Ю. Усачёв В.Е. Гнедин. М.М.
- 12⁰⁰** Новые возможности для промышленной радиографии. Красильников С. Б., Пантелеев В. А., Петрив Р. Б.
- 12¹⁵** Портативные рентгеновские устройства на основе регистрации обратно-рассеянного излучения. Буклей А. А., Паршин И. А., Подымский А. А.
- 12³⁰** Миниатюрные источники излучения для внутриволостной терапии. Таубин М. Л., Ясколко А. А.
- 12⁴⁵** Малогабаритные аппараты для медицинской диагностики. Потрахов Н. Н.
- 13⁰⁰ - 14⁰⁰** **Обед**
- 14⁰⁰** Об особенностях управления силовыми каскадами РПУ в режиме повторно-кратковременного включения. Мамонов И. А.
- 14¹⁵** Микрофокусный рентгеновский источник на разборной трубке. Гелевер В. Д., Лебедев М. Б., Манушкин А. А., Усачев Е. Ю.
- 14³⁰** Разработка отечественных рентгеновских излучателей для компьютерного томографа и ангиографа. Зайцев П. А., Таубин М.Л., Игнатъев Д. Н., Ясколко А. А., Тюрин С. В.
- 14⁴⁵** Сравнение результатов радиографического контроля стальных образцов при использовании цифровых панелей различных типов. Семенов Ю. В., Усачев Е. Ю.
- 15⁰⁰** Новый метод РФА в условиях полного внешнего отражения рентгеновского излучения в схеме с волноводом-резонатором. Лукьянченко Е. М., Руденко В. Н., Егоров В. К., Егоров Е. В.
- 15¹⁵** Оптимизация скрининговых исследований органов грудной клетки в цифровой рентгенографии. Водоватов А. В., Камышанская И. Г., Дроздов А. А.
- 15³⁰** Высокоточные источники питания для рентгеновских систем. Собственное производство или аутсорсинг? Аксенов С. Г.
- 15⁴⁵** Перспективы трудоустройства выпускников инженерных специальностей в области производства рентгеновской аппаратуры. Грязнов А. Ю., Жамова К. К., Холопова Е. Д.
- 16⁰⁰ - 17⁰⁰** **Круглый стол**
17⁰⁰ **Закрытие конференции**

*Заседания проводятся в конференц-зале пятого корпуса СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
В ходе конференции будут продемонстрированы образцы рентгеновской аппаратуры.*

ОБРАЩЕНИЕ К УЧАСТНИКАМ КОНФЕРЕНЦИИ

Ровно двадцать четыре года прошло со времени проведения в нашей стране последней по счету Всесоюзной конференции по перспективам развития рентгеновских трубок и аппаратуры. Эта конференция была организована и проводилась 21-23.11.99. по инициативе и под руководством главного инженера Ленинградского объединения электронной промышленности (ЛОЭП) «Светлана» Боровского Александра Ивановича и начальника Отдельного конструкторского бюро рентгеновских приборов (ОКБ РП) ЛОЭП «Светлана» Щукина Геннадия Анатольевича. Самое активное участие в организации и работе конференции принимали сотрудники кафедры Рентгеновских и электронно-лучевых приборов (РЭЛП) Ленинградского электротехнического института «ЛЭТИ» в лице заместителя заведующего кафедрой РЭЛП профессора Иванова Станислава Алексеевича.

Выбор ОКБ РП в качестве площадки для проведения конференции был не случаен. Общий объем выпуска рентгеновских трубок всех типов в то время составлял до нескольких десятков тысяч штук в год. Однако в результате развала Советского Союза и последующего экономического кризиса отрасль рентгеноаппаратостроения была в значительной степени разрушена и долгое время пребывала в упадке. Оказались разорванными некогда тесные научно-технические взаимосвязи между разработчиками, производителями и потребителями рентгеновской аппаратуры, утеряны многие технологии и, самое главное, ушли опытные разработчики аппаратуры – элита отрасли.

В последние годы в связи с необходимостью удовлетворения потребностей страны в рентгеновской аппаратуре последние годы возродились некоторые старые и даже появились новые предприятия этой отрасли. Практика показывает, что многие из них успешно конкурируют по отдельным направлениям рентгеноаппаратостроения с ведущими мировыми производителями. По всей видимости, настала пора комплексно оценить состояние дел в этой отрасли, в частности - уровень ее научно-технического развития, а также попытаться обозначить проблемные места и возможные источники дальнейшего развития.

В заключение отмечу, что место проведения и организаторы нынешней конференции определились также не случайно: ЗАО «Светлана-Рентген» по-прежнему - крупнейший разработчик и производитель рентгеновских трубок не только в нашей стране, но и один из таковых в мире, а Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» (СПбГЭТУ) - единственное в стране высшее учебное заведение, непосредственно готовящее специалистов в области разработки рентгеновских трубок.

Зав. кафедрой электронных приборов
и устройств СПбГЭТУ, д.т.н.



Потрахов Н.Н.

ЦИФРОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВА НИПК «ЭЛЕКТРОН»

Мазуров А. И., Элинсон М. Б. (НИПК «Электрон»)

В этом году исполнилось 25 лет нашей компании. Это возраст, когда можно подвести итог разработкам одного из основных функциональных узлов рентгеновских аппаратов – цифровых детекторов. Началом отсчета разработок цифровых детекторов в компании является 1993 г., когда был разработан в России первый передвижной рентгенохирургический аппарат типа С-дуга РТС-611 на цифровом детекторе на базе отечественного рентгеновского электронно-оптического преобразователя (РЭОПа) - УРИ-612 и ПЗС матрицы. В дальнейшем, в рамках концепции производства цифровых рентгеновских изделий был разработан ряд УРИ серий УРИ-612 и УРИ-1000 на зарубежных РЭОПах и ПЗС матрицах, с режимами импульсной рентгеноскопии и цифровой рентгенографии, которые соответствовали лучшим мировым образцам. С 1994 г. в клиники было поставлено более 2000 УРИ, которые сыграли большую роль в запрете поставок в клиники России поворотных столов штативов без УРИ.

В 1999 г. разработана цифровая флюорографическая камера по схеме «экран-объектив-ПЗС-матрица» с четырьмя миллионами элементов изображения. В процессе этой разработки решена сложнейшая задача создания высокосветосильного широкоугольного проекционного объектива. Только в 2006-2077 гг. с этой камерой было поставлено в медицинские учреждения, по проекту «Здоровье», свыше 700 цифровых флюорографов.

В дальнейшем по этой схеме для стойки и стола снимков были разработаны цифровые детекторы формата 3Кх3К и 4Кх4К с рабочим полем 430х430 мм.

Анализ тенденций развития цифровых детекторов показал, что детекторы на РЭОПах, как представители вакуумной технологии и детекторы “экран-объектив-ПЗС-матрица” из-за больших габаритов и веса будут в ближайшем будущем заменены плоскопанельными детекторами. В связи с этим НИПК “Электрон” разработал программу создания собственных плоскопанельных детекторов трех классов: статических для рентгенографии, динамических для интервенционной рентгенологии (ангиографических комплексов) и универсальных для рентгенодиагностических комплексов общего назначения. В настоящее время компанией разработаны динамические детекторы непрямого преобразования по К-МОП технологии для интервенционной рентгенологии и статические непрямого преобразования по TFT технологии для рентгенографии; универсальные плоскопанельные детекторы находятся в стадии разработки.

Разработанные динамические детекторы входят в системы визуализации ангиографических комплексов в двух вариантах (СВАК-1 и СВАК-2) и обеспечивают следующие параметры: размер рабочих полей (350х312) мм и (235х287) мм; контрастную чувствительность 1 % при дозе не более 1,0 мкГр; разрешающую способность не менее 2,5 мм⁻¹; динамический диапазон не менее 400 раз; частота кадров – от 1 до 75.

В детекторы встроены экспонетрические датчики, позволяющие исключить из состава ангиографа ионизационную камеру.

Рентгенографические детекторы имеют параметры: размер рабочего поля – 430х430 мм; контрастная чувствительность – 1,5 %; разрешающая способность – 3,5 мм⁻¹; динамический диапазон – не менее 400.

Эти плоскопанельные детекторы позволяют создавать системы визуализации цифровых аппаратов на уровне лучших мировых образцов.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ С ИМПУЛЬСНЫМ ВЫХОДОМ – ОСНОВА РЕНТГЕНОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Владимиров Е. Н., Казаков Л. В., Лебедева О. К. (НПП «Буревестник», ОАО)

Технологические процессы алмазодобычи, используемые на российских предприятиях, полностью или частично, в комплексе с другими методами, строятся с применением метода рентгенолюминесцентного обогащения алмазосодержащих материалов. Устройства, работающие на основе этого метода, носят название рентгенолюминесцентных сепараторов.

Принципиальная основа рентгенолюминесцентной сепарации – рентгеновское возбуждение люминесценции и цифровой анализ люминесцентного отклика.

Сепараторы НПП «Буревестник» используют импульсное возбуждение, которое позволяет не только сконцентрировать во время импульса большую мощность, но и разделить во времени процессы возбуждения люминесценции и наблюдения – регистрации отклика. Это, в свою очередь, дает возможность пространственно объединить зоны возбуждения и регистрации в одну зону возбуждения и регистрации. Кроме того, при использовании цифровой регистрации при импульсном возбуждении можно сформулировать дополнительные признаки, более селективно выделяющие алмаз.

Сепараторы НПП «Буревестник» традиционно используют рентгеновские трубки (РТ) с маркой «Светлана». Уже более 20 лет основные модели сепараторов используют семейство рентгеновских трубок БХВ-18 Re - БХВ-21 Re - БХВ-22 Re. Все трубки имеют протяженный катод длиной 110 мм и, соответственно, протяженное фокусное пятно. Такая конструкция оказалась особенно удобной для высокопроизводительных сепараторов первичного обогащения.

По конструктивным особенностям сепаратора РТ встраивается в рентгенооптическую схему сепаратора, поэтому источник питания РТ удобно выполнить не одним блоком, а в виде комплекта блоков. На рисунке 1 представлена структурная схема мощного высоковольтного источника, содержащего:

- стабилизированный блок первичного питания GEN 300/8 (позднее - ELFA-2000);
- модуль силового ключа МСК, где размещен силовой ключ IGBT, драйвер, балластный конденсатор и рекуперативный диод ;
- блок высоковольтный БВВ, где размещены рентгеновская трубка ХРТ, высоковольтный импульсный трансформатор Т1 с тремя обмотками: силовой W1, высоковольтной W2 и рекуперативной W3, накальный высокопотенциальный трансформатор Т2, выпрямитель и фильтр напряжения накала (накал РТ осуществляется постоянным током) и датчик тока анода Rс;
- блок управления трубкой с двухконтурной схемой управления и стабилизации тока и напряжения РТ.

Входные сигналы напряжения и тока поступают из БВВ каждый на отдельный МП-контроллер, преобразуются в цифровой формат входным АЦП и сравниваются с установкой, задаваемой САУ по шине. Управление напряжением РТ соответствующий контроллер осуществляет, управляя блоком первичного питания по RS-232. Управление током производится изменением тока накала РТ через ЦАП.

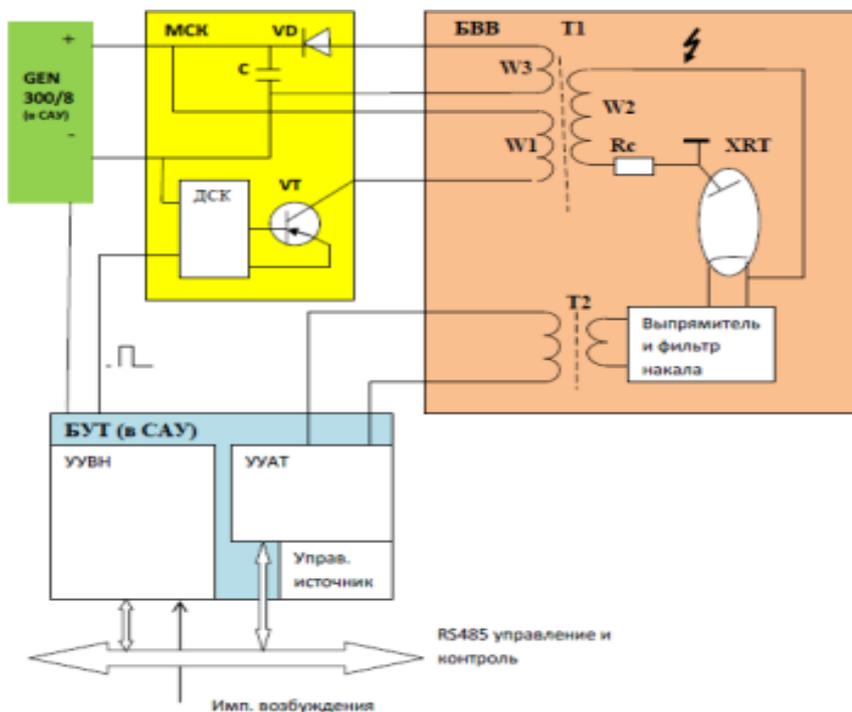


Рис. 1. Структурная схема мощного высоковольтного источника питания.

Источник питания РТ работает в системе автоматического управления сепаратором и связан с системой шины RS485 по протоколу ModBus RTU. Значения параметров и сведения об авариях отображаются на мониторе человеко-машинного интерфейса.

Мощность источника в импульсе (длительность 0.5 мс, период 4 мс) до 10 кВт.

Высокое напряжение на РТ – до 33 кВ, ток в импульсе – до 330 мА

МИНИАТЮРНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ВНУТРИПОЛОСТНОЙ ТЕРАПИИ

Таубин М. Л. (НИЯУ «МИФИ»), Ясколко А. А. (ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ»)

В работе описаны результаты разработки миниатюрных источников излучений для внутриполостной терапии. Техническая суть разработки состоит в использовании в качестве источника рентгеновской трубки с регулируемой системой охлаждения.

Такой источник позволяет получать не только ионизирующее (рентгеновское) излучение, что является функционалом для рентгеновской трубки, но и использовать тепло, выделяющееся на аноде в результате торможения электронов, для гипертермии (локальный перегрев) зоны облучения.

Это обстоятельство имеет принципиальное значение, так как из литературы известно, что последовательное воздействие тепловым, а затем ионизирующим потоками повышает эффективность лечения в полтора-два раза. А одновременное облучение указанными потоками повышает эффективность лечения в два-четыре раза.

Разрабатываемый источник и предназначен для проведения таких процедур. Более того, учитывая заданные медиками ограничения по размерам (диаметр не более 25мм), описываемые источники можно располагать внутри организма непосредственно вблизи опухоли, что также является положительным аргументом для эффективности лечения.

Особенностью описываемой разработки является применение новых, ранее не использованных материалов для создания изделий рентгеновской техники.

Это монокристаллические сплавы вольфрама и молибдена, а также, нанокompозит вольфрама (материал получен авторами работы впервые на фольгах толщиной 100-200 мкм).

В работе приводятся полученные авторами работы данные о прочностных, электрофизических и эмиссионных свойствах этих материалов, а также схемы систем охлаждения, источников излучения и фото разработанных макетов.



Рис. 1. Внешний вид и схема миниатюрных источников.

Конструкция источников защищена патентом России. Кроме того, авторами получены патенты России на конструкцию рентгеновской трубки с электродами из монокристаллов и конструкции плоских катодов.

Литература

1. Таубин М. Л., Ясколко А. А. Рентгеновская трубка. Патент РФ №2377686. Приоритет от 29.04.2008. Бюл. №36. 2009.
2. Алексеев С. В., Таубин М. Л., Ясколко А. А. Применение наноструктурированных материалов в рентгенодиагностической технике // Медицинская физика. 2008. - 2(38). С.53-56.
3. Алексеев С. В., Игнатъев Д. Н., Таубин М.Л., Шестых Д.В., Ясколко А.А. Новые аспекты в разработке высокоэффективных источников рентгеновского излучения с использованием наноматериалов // Медицинская техника. 2010. №5(263). – С.14-18.
4. Алексеев С. В., Игнатъев Д. Н., Таубин М. Л., Шестых Д. В., Ясколко А. А. Новые аспекты в разработке высокоэффективных источников рентгеновского излучения с использованием наноматериалов // Медицинская техника, 2010, № 5 (263), стр.14-18.
5. S. Alekseev, M. Taubin, A. Yaskolko., Miniature X-ray sources produced from nano-and monocrystal materials. Proceeding of the 98th Scientific Assembly and Annual Meeting of the Radiological Society of North America, Chicago, November 25-30, 2012.
6. S. Alekseev, M. Taubin, A. Yaskolko. Application of nanostructural materials in medical technique, Proceeding of 2nd Biotechnology World Congress, Dubai, 18-21 February, 2013.

ЕДИНОЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО - НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ МЕДИЦИНСКОЙ РАДИОЛОГИИ

Дабагов А. Р. (ЗАО «МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ Лтд»)

К настоящему времени в субъектах РФ созданы базовые элементы информационно-коммуникационной инфраструктуры для нужд медицины. Однако существующие информационные системы представляют собой комплекс разрозненных автоматизированных

рабочих мест и систем и носят локальный характер. Отсутствие единого подхода при их разработке и эксплуатации не позволяет сформировать единое информационное пространство, что приводит к возникновению серьезных трудностей и делает электронный обмен данными между ними практически неосуществимым.

В мировой практике давно используется такое понятие, как «единое информационное пространство». Единое информационное пространство - это совокупность баз и банков данных, технологий их ведения и использования, а также информационно-телекоммуникационные системы и сети, которые функционируют на основе единых принципов и по общим правилам, обеспечивающим информационное взаимодействие организаций и граждан.

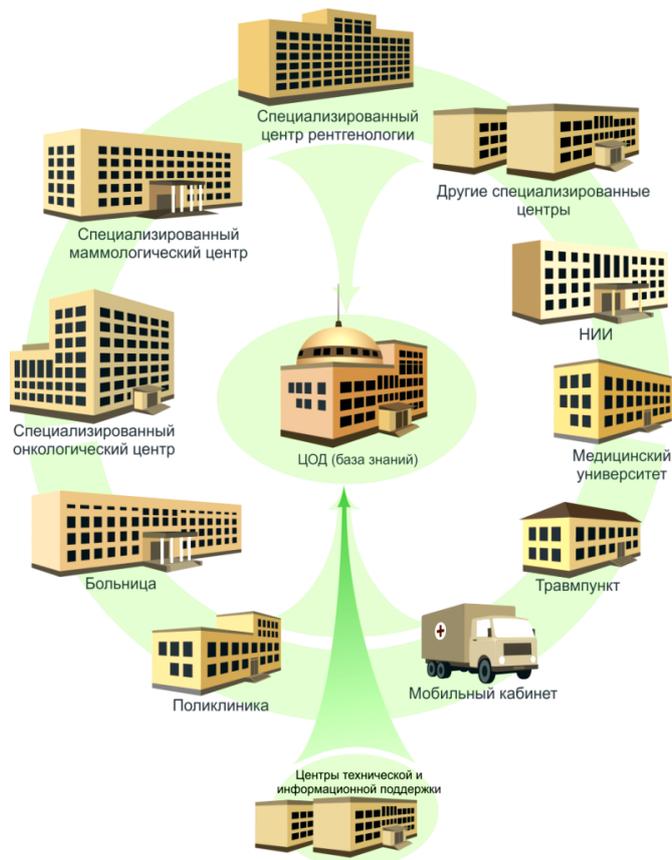


Рис. 1. Единое Диагностическое Информационное Пространство.

Обеспечит медицинским работникам возможность проведения лечебно-диагностических консультаций и мероприятий дистанционной диагностики на качественно иной технологической основе.

1. Создание единой базы знаний.

Медицинские учреждения, входящие в единое диагностическое пространство, а следовательно - и диагностические исследования, которые проводятся на базе этих учреждений, будут создавать управляемую, структурированную и динамично развивающуюся базу данных. Это огромная и непрерывно пополняемая база знаний позволит по запросу эффективно и необходимым образом структурировано предоставлять информацию для лечения, научных исследований, обучения и принятия управленческих решений.

ЕДИП можно рассматривать в любом масштабе: клиника, объединение медицинских организаций по нозологическому признаку (туберкулез, онкология и т.д.), объединение медицинских организаций по территориальному признаку (муниципалитет, регион, страна).

Возможности, предоставляемые Единым Диагностическим Информационным Пространством:

Хранение, обработка и передача диагностической информации независимо от ее объема в любую точку пространства.

ЕДИП позволит врачу независимо от места нахождения войти в центральный архив и получить доступ к медицинской данным пациента, включая результаты диагностических и лабораторных исследований за любой период времени.

2. Централизованное управление службой лучевой диагностики.

В существующей на данный момент модели субъекты управления (медицинские организации) информационно и географически разрознены и требуется длительное время для сбора необходимой информации и ее анализа. В силу различных причин это возможно не всегда. С учетом того, что информация часто собирается вручную, возможны ошибки, которые влекут за собой неправильные управленческие решения. ЕДИП предоставляет возможность получать необходимую информацию по запросу в режиме реального времени и минимизирует возможность ошибочных решений.

3. Эффективное управление ресурсами в здравоохранении - наличие любой необходимой и нужным образом структурированной информации дает ясное представление о ресурсах, в т.ч. загрузке оборудования и персонала в масштабе всего пространства. Появляется база для принятия правильных решений по обновлению и наращиванию, оптимизации парка оборудования, распределению персонала.

Создание единого диагностического информационного пространства проводится на основе детально разработанного технико-экономического проекта. Детально проработанный и правильно структурированный проект является важнейшей основой построения ЕДИП. Такой проектный подход позволит проводить модернизацию существующей на данном этапе материально-технической базы лучевой диагностики в плановом порядке, исходя из имеющихся ресурсов и финансовых возможностей Заказчика. В рамках реализации проекта появляется возможность финансировать и вводить в эксплуатацию отдельные элементы системы. Данные отдельные элементы ЕДИП будут вводиться поэтапно, и функционировать в рамках единой концепции ЕДИП, учитывающей возможность подключения уже существующих локальных информационно-диагностических систем.

Этапы построения Единого Диагностического Информационного Пространства:

1. Разработка проекта, после предварительного детального анализа существующей инфраструктуры диагностического пространства в разрезе оборудования и информационных сетей и изучения технического задания Заказчика разрабатывается проект ЕДИП с разделением на этапы реализации, созданием локальных проектов РИС каждой медицинской организации, расчетом стоимости затрат по каждому этапу.

2. Оснащение медицинских организаций современным диагностическим оборудованием и объединение оборудования в РИС медицинской организации.

На основе разработанного проекта ЕДИП и с учетом финансовых возможностей Заказчика оснащаются отдельные медицинские организации. Благодаря проектному подходу реализации ЕДИП эта работа может проводиться параллельно с реализацией других этапов.

3. Создание единой базы данных и объединение медицинских организаций пространства в единую сеть. Одновременно с оснащением медицинских организаций создается единый центр обработки данных (ЦОД). На базе ЦОД создаётся единая база данных диагностического пространства. По мере завершения формирования информационной сети, оснащения медицинских организаций современным диагностическим оборудованием и началом полноценной работы, формируется ЕДИП.

4. Создание круглосуточного центра технического сопровождения (ЦТС) и постоянно действующего центра обучения. ЦТС является ключевым элементом, обеспечивающим работу единого диагностического информационного пространства, круглосуточный мониторинг работы всех систем и оборудования ЕДИП, а также, в случае

необходимости, оперативное и качественное устранение неисправностей. ЦО представляет собой специально оборудованный класс для постоянного обучения медицинского персонала.

На наш взгляд, учитывая временные рамки разработки и внедрения ЕДИП, всю реализацию проекта (разработка проекта, оснащение и ввод в эксплуатацию, дальнейшее управление и эксплуатацию системы) целесообразно поручить одной компании-интегратору на основе контракта жизненного цикла.



Рис 2. Этапы создания ЕДИП.

На сегодняшний день в России нет ни одного полностью функционирующего ЕДИП. По концепции ЕДИП создаются региональные информационные диагностические системы в Краснодарском крае и Республике Татарстан. Внедрение ЕДИП позволит перевести на новый уровень раннюю диагностику заболеваний, оптимизирует использование ресурсов здравоохранения и создаст условия для получения населением всех видов медицинской помощи, предусмотренных государственными программами. Это - путь, который позволит развиваться системе здравоохранения на основе государственной информационной политики и обеспечит постепенное движение страны к построению информационного общества.

МИКРОФОКУСНЫЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ АППАРАТ РАП-200М

Бессонов В. Б., Ободовский А. В., Потрахов Н. Н., Потрахов Е. Н. (СПбГЭТУ)

Контроль качества на современном промышленном производстве играет определяющую роль в научно-техническом прогрессе. Ни одно крупное предприятие на сегодняшний день невозможно представить без рентгеновских средств неразрушающего контроля, позволяющих получить информацию о внутренней структуре и свойствах объектов контроля. Традиционно используемым методом контроля качества является рентгеновская дефектоскопия.

Одной из наиболее часто встречающихся в практике промышленной рентгеновской дефектоскопии задач является контроль изделий из твердых сплавов сложной формы с высокой степенью детализации. Современная установка для рентгеновской дефектоскопии представляет из себя сложную систему, обычно включающую:

- источник рентгеновского излучения;
- приемник рентгеновского излучения;
- механические системы перемещения;
- рентгенозащитную камеру;
- современное программное обеспечение.

Очевидно, что определяющей частью данной системы является источник рентгеновского излучения. В настоящее время подавляющее большинство производителей рентгеновской техники изготавливают оборудования с высокой мощностью (анодный ток $I_a = 10 \dots 100$ мА). При такой мощности за качество получаемых изображений в большой степени отвечает разрешающая способность и чувствительность приемника рентгеновского излучения. Однако, в случае проведения «тонких» исследований, подобный подход недопустим ввиду ограничений по разрешающей способности современных систем визуализации. При таких исследованиях применяется способ получения рентгеновских изображений с прямым геометрическим увеличением объекта (микрофокусный способ), что, при определенных условиях, позволяет получать более детальные рентгеновские снимки. Особый интерес данный способ представляет для целей томографии и микротомографии.

Традиционно микрофокусные источники рентгеновского излучения на анодное напряжение $U_a \geq 200$ кВ изготавливаются на основе рентгеновских трубок «открытого» типа с постоянной откачкой. Аппараты на основе «отпаянных» рентгеновских трубок имеют максимальное $U_a \leq 150$ кВ.

В настоящей работе рассматривается микрофокусный рентгеновский аппарат РАП-200М, на основе рентгеновской трубки совместной разработки СПбГЭТУ и ЗАО «СВЕТЛАНА-РЕНТГЕН». Внешний вид аппарата представлен на рисунке 1.

Микрофокусный рентгеновский аппарат РАП-200М выполнен в моноблочном исполнении и включает в себя собственно моноблок с микрофокусной рентгеновской трубкой и внешний пульт управления, соединенные кабелем. Управление аппаратом может осуществляться как с помощью внешнего пульта, так и от персонального компьютера. Основные технические характеристики аппарата представлены в таблице 1.



Рис. 1. Микрофокусный рентгеновский аппарат РАП-200М.

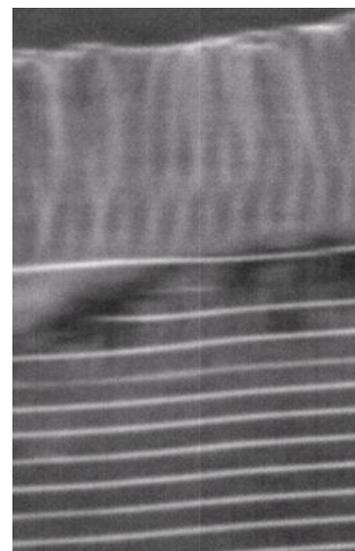


Рис. 2. Рентгенограмма сетки (увеличение в 15 раз)

Ввиду того, что основное назначение аппарата – получение высокодетальных рентгеновских снимков с прямым геометрическим увеличением объекта исследования, наибольший интерес представляет измерение размеров фокусного пятна рентгеновской трубки, которые определялись экспериментально с помощью медной сетки (диаметр проволоки – 20 мкм, расстояние между проволоками – 100 мкм). Рентгеновский снимок

указанного тест-объекта представлен на рисунке 2. Исследования выполнялись при анодном напряжении 200 кВ и анодном токе 100 мкА с использованием системы визуализации на основе экран-оптика-ПЗС.

Таблица 1.

Технические характеристики РАП-200М

Анодное напряжение, кВ	40 - 200
Анодный ток, мА	0,1 - 0,8
Потребляемая мощность, Вт	250
Размер фокусного пятна, мм	0,01 x 0,07
Режим работы	Непрерывный, повторно-кратковременный
Вес, кг	6
Габариты (ДхВхШ), мм	340 x 180 x 120
Питание	220±22 В, 50 Гц

Проведенные исследования показали, что фокусное пятно имеет форму эллипса (видно из представленного снимка). При этом размер фокусного пятна составляет 10 мкм по малому диаметру, 60-70 мкм по большому диаметру при анодном напряжении 200 кВ и анодном токе 100 мкА. Для наглядной иллюстрации работы аппарата на рисунке 3 приводится снимок участка сопла ракетного двигателя (толщина стали – 20 мм, размер каналов – 2 на 2 мм).

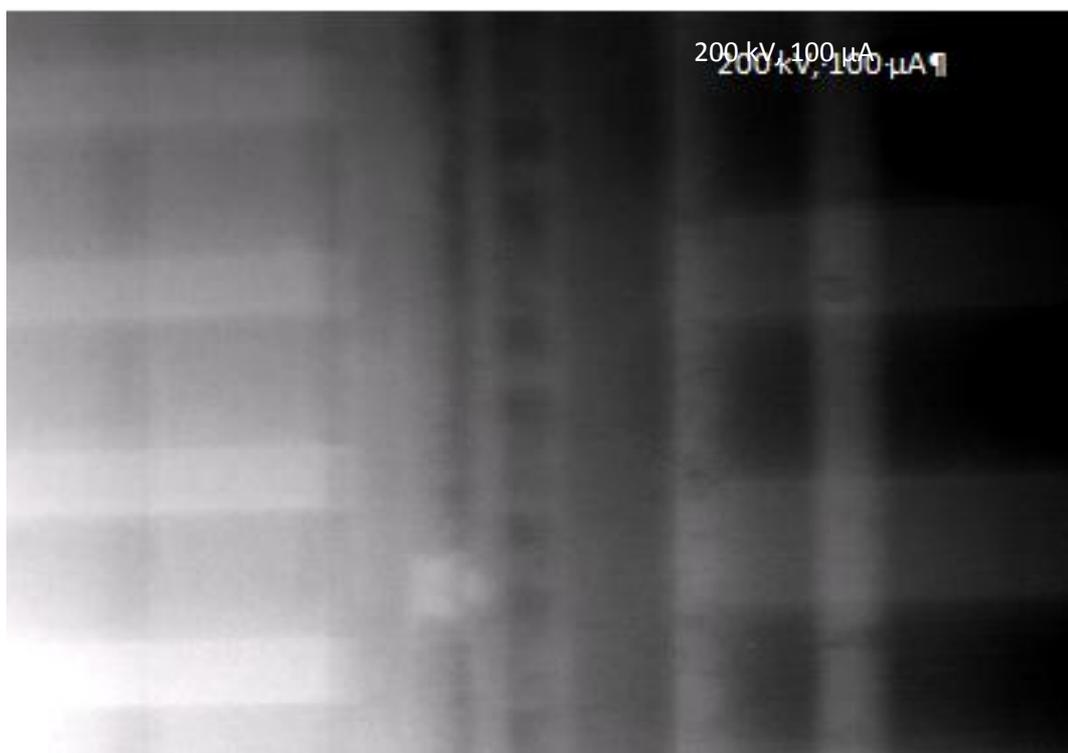


Рис. 3. Рентгенограмма участка сопла.

На представленном снимке хорошо заметны наплавы в каналах, вызванные неточностями в технологическом процессе изготовления образца.

Таким образом, микрофокусный рентгеновский аппарат РАП-200М позволяет получать высокодетальные рентгеновские снимки и может быть использован в современных комплексах неразрушающего контроля, а также томографии и микротомографии.

МИКРОФОКУСНЫЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ ИСТОЧНИК НА РАЗБОРНОЙ ТРУБКЕ

*Гелевер В. Д., Лебедев М. Б., Манушкин А. А., Усачев Е. Ю.
МИРЭА (МГТУ МИРЭА)*

Для контроля в мягком рентгеновском излучении изделий микроэлектроники и микромеханики с высоким разрешением и увеличением был разработан микрофокусный рентгеновский источник на разборной трубке (РТ). В состав РТ входит система магнитных линз, электронная пушка и мишени с бериллиевым окном. Единый внутренний объем откачивается вакуумными насосами. Во внутреннем канале РТ можно размещать апертурные диафрагмы, которые уменьшают aberrации линз, фокусирующих электронный пучок на мишени. Подбором размера апертурной диафрагмы и уменьшения системы магнитных линз можно получать фокусные пятна до 0,1 мкм. Конструкция РТ позволяет легко менять мишени и катод, поэтому РТ фактически имеет бессрочный срок службы, в отличие от отпаянных трубок, которые имеют ограниченный срок службы. Питание и управление разборной трубки обеспечивается высоковольтным источником питания (ВИП) и растровым питающим устройством (РПУ), которое имеет в своем составе низковольтные источники питания катушек магнитных линз, отклоняющих систем и стигматора, а также генератора разверток с усилительным трактом для получения растрового изображения с помощью полупроводникового рентгеновского детектора. При сканировании электронного пучка по мишени получается изображение поверхности мишени в рентгеновском излучении, что позволяет оперативно и точно фокусировать пучок на мишени (рис. 1). После фокусировки электронный пучок останавливается на мишени и проводится съемка объектов.

РТ была использована при изготовлении рентгенотелевизионного комплекса (РТК) для контроля микротрещин (МТ) и топливных компактов в процессе их производства [1]. РТК состоит из двух стоек. В рентгеновской стойке (рис. 2) были размещены РТ, столик для перемещения объектов и плоскопанельный сенсор С7942СК-12 фирмы Hamamatsu. В нижней части был установлен форвакуумный насос. В другой стойке находятся ВИП, РПУ и элементы управления вакуумной системой.

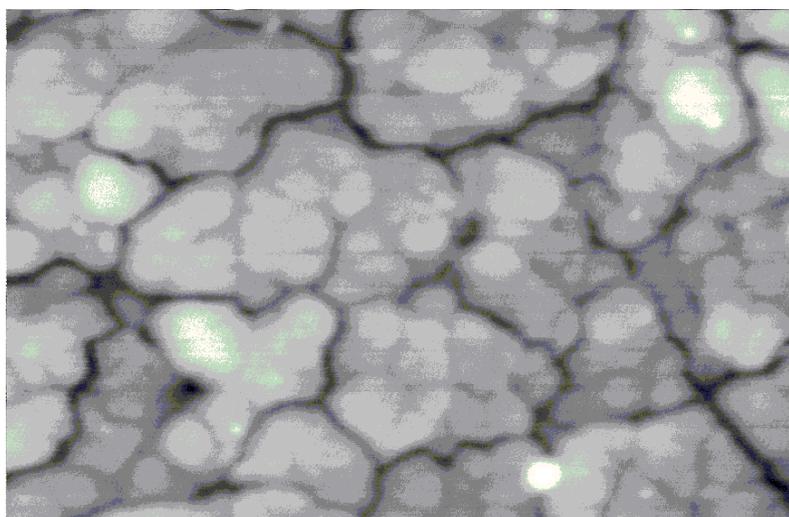


Рис. 1. Рентгеновское изображение поверхности мишени из Re (средний размер зерен ≈ 20 мкм).



Рис. 2. Микрофокусный рентгенотелевизионный комплекс.

Основные характеристики РТК:

- | | |
|--|----------------------|
| – ускоряющее напряжение | 10÷40 кВ. |
| – фокусное пятно | 0,1 ÷5 мкм. |
| – средняя плотность мощности фокусного пятна | 1 Вт/мкм. |
| – материал протрельной мишени | W, Re и др. |
| – материал рентгеновского окна | Be толщиной 50мкм. |
| – система фокусировки электронного пучка | две магнитные линзы. |
| – высоковакуумный насос | магниторазрядный. |
| – время откачки вакуумного объема | 10÷20 мин. |

Основным объектом являлся МТ, состоящие из топливного ядра, окруженного многослойным покрытием из различных материалов, плотности которых могут отличаться почти на порядок. При контроле геометрических размеров защитных слоев их контраст должен быть достаточным, чтобы можно было проводить измерения толщин слоев по внешнему и внутреннему диаметрам слоев с точностью не хуже ± 1 мкм. На экспериментальном образце рентгеновского источника была проведена съемка нескольких видов имитаторов микровзлов, топливных компактов и купонов с имитаторами (рис. 3-5).

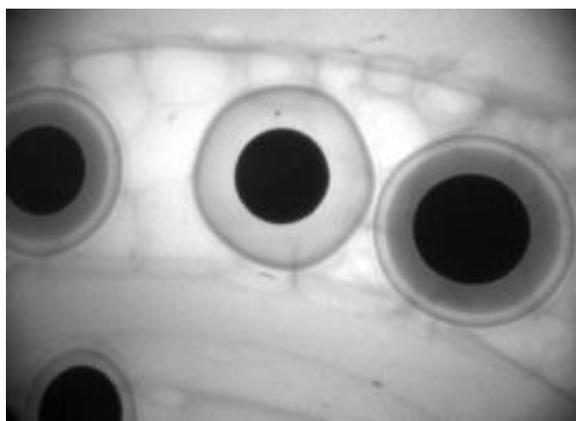


Рис. 3. Рентгеновское изображение микровзлов (25 кВ).

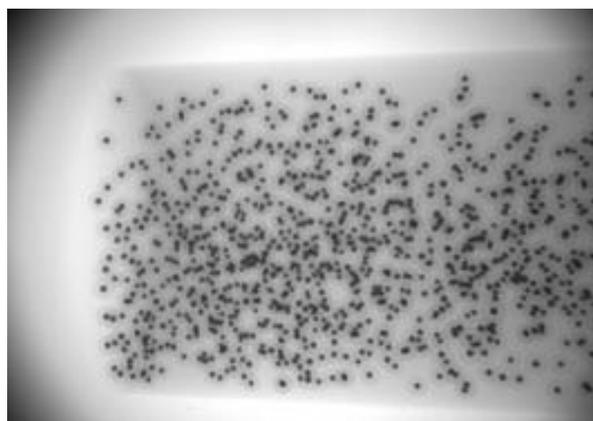


Рис. 4. Рентгеновское изображение топливных компактов с имитаторами.

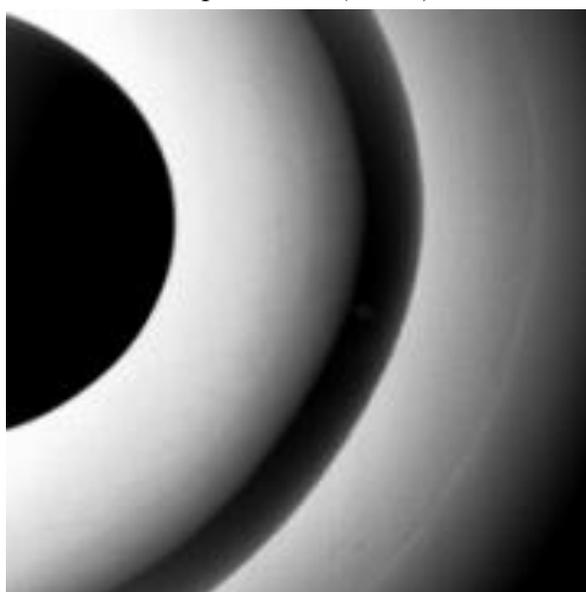


Рис. 5. Рентгеновское изображение микровзлов (25 кВ) в проекционном режиме с обработкой для измерений толщин слоев.

Используя в качестве эталона металлический шарик известного размера, были проведены пробные измерения толщин слоев по специальной программе обработки изображений. Разработанный рентгеновский источник может быть использован так же для исследования различных объектов в биологии, медицине, сельском хозяйстве, геологии, нанотехнологии и т.д. При этом целесообразно было бы применить рентгеновский детектор с нижним рабочим диапазоном на уровне 5 кэВ, чтобы улучшить возможности исследований биологических и медицинских объектов. Да и для исследований МТ это было бы полезно, так как используемый детектор с нижним диапазоном на уровне 23 кэВ, создавал проблемы при измерениях толщин слоев, состоящих из соединений с углеродом. Ситуацию облегчало наличие фазового контраста при определенных размерах фокусного пятна и расстояния объект-фокус. На снимках часто наблюдался тонкий белый ободок на границах слоев.

Литература

1. Gelever V. D. and other 10 European Conf. on Non- Destructive Testing. T1 Moscow. 2010.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИФРОВЫХ ПАНЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Семенов Ю. В., Усачев Е. Ю. (МГТУ МИРЭА)

Исследовалась возможность применения цифровых панелей прямого (FLAATZ-760, DRTECH Corporation South Korea) и непрямого (SDX-4336CP, Samsung Mobile Display Corporation South Korea) преобразования рентгеновского излучения совместно с портативным слаботочным рентгеновским аппаратом РИ-160 для целей контроля стальных образцов толщиной от 1 до 35 мм. Анодное напряжение изменялось от 60 кВ до 160 кВ, анодный ток составлял 0,5 мА. Чувствительность контроля оценивалась по проволочным эталонам чувствительности.

При просвечивании образца толщиной 1 мм, 3 мм и 5 мм лучшая чувствительность была достигнута при анодном напряжении 80 кВ, 100 кВ и 120 кВ, соответственно. При просвечивании образца толщиной 10 мм и более – 160 кВ. Результаты измерений чувствительности при выбранных анодных напряжениях приведены в табл. 1. В этой же таблице представлены требования по чувствительности радиографического контроля с применением радиографической пленки, установленные российским стандартом ГОСТ 7512-82 и международным стандартом ISO 17636-2:2013.

Сравнение данных, приведенных в табл.1, показывает, что при контроле стальных образцов толщиной от 1 до 10 мм лучшая чувствительность обеспечивается при использовании цифровой панели прямого преобразования FLAATZ-760. При контроле образцов толщиной 15-20 мм чувствительность при использовании обеих панелей приблизительно одинакова. Для образцов большей толщины лучшие результаты были получены при использовании цифровой панели непрямого преобразования SDX-433CP. Обусловлено это тем, что цифровая панель непрямого преобразования имеет лучшую

эффективность регистрации рентгеновского излучения. Так атомный номер и плотность сцинтиллятора цезий-йод, активированный таллием (CsI:Tl) составляет 55,53 и 4,5 г/см³, а аморфного селена (aSi) – 34 и 4,3 г/см³, соответственно. Поэтому для контролируемых объектов, имеющих большую радиационную толщину, цифровая панель непрямого преобразования имеет лучшую величину отношения сигнал/шум.

Таблица 1.

Сравнение экспериментальных данных по чувствительности контроля с требованиями стандартов

Радиационная толщина, мм	Flat Panel SDX-433CP, мм	Flat Panel FLAATZ-760, мм	Класс чувствительности по ГОСТ 7512-82			Требования ISO 17636-2:2013(E)	
			1	2	3	Класс А	Класс В
1	0,08	0,05	0,10	0,10	0,20	0,063	0,05
3	0,1	0,08	0,10	0,10	0,20	0,10	0,080
5	0,125	0,125	0,20	0,20	0,32	0,125	0,10
10	0,25	0,20	0,20	0,32	0,40	0,20	0,16
15	0,32	0,32	0,32	0,40	0,50	0,25	0,20
20	0,40	0,40	0,32	0,40	0,50	0,32	0,20
25	0,63	1,0	0,40	0,50	0,63	0,40	0,25
30	0,80	1,6	0,40	0,50	0,63	0,40	0,25
35	1,6	2,0	0,50	0,63	0,75	0,63	0,32

Чувствительность контроля образцов из стали толщиной до 25 мм с использованием цифровой панели SDX-433CP, соответствует третьему классу чувствительности ГОСТ 7512-82 и не соответствует требованиям международного стандарта.

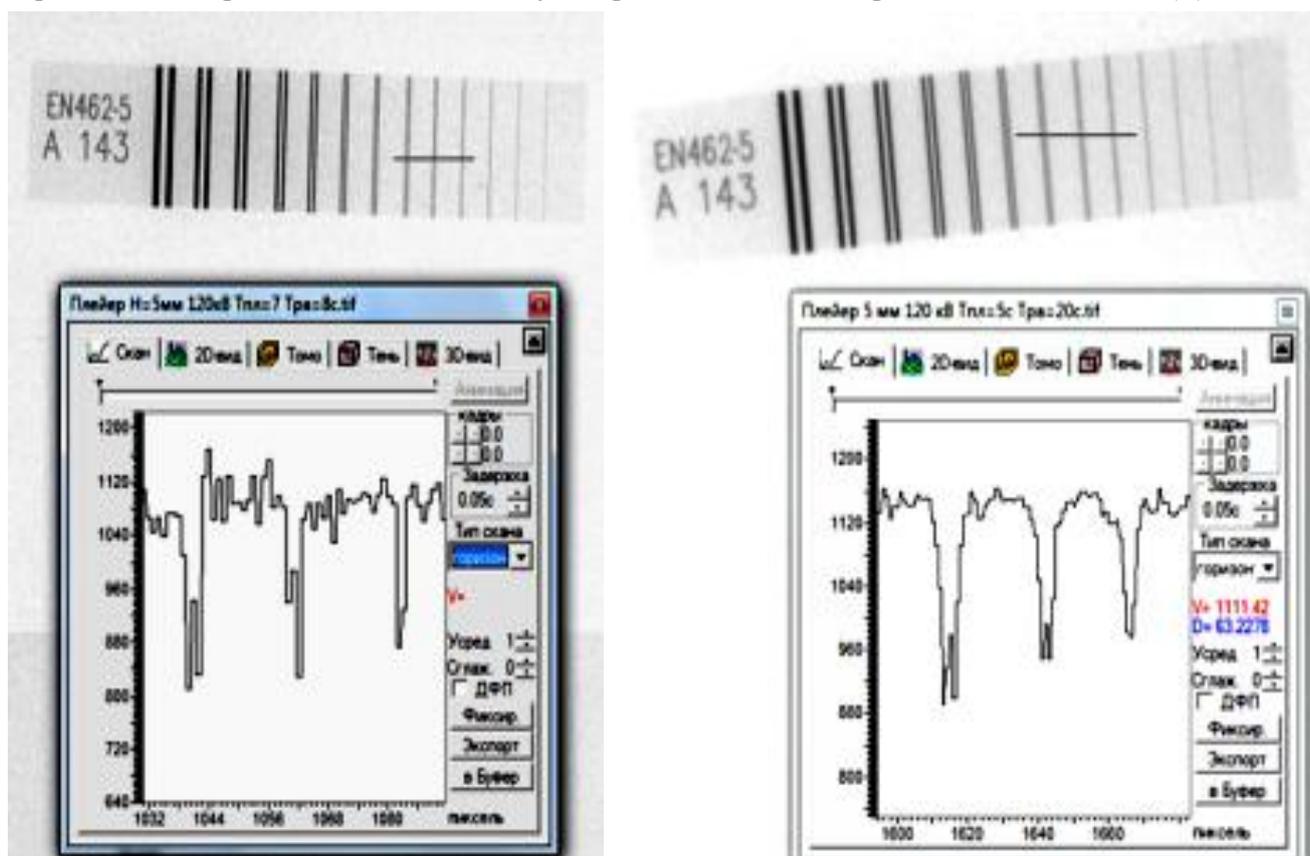
Чувствительность, которая достигается при использовании цифровой панели FLAATZ-760, соответствует требованиям класса А ISO 17636-2:2013(E) и требованиям 1 класса чувствительности ГОСТ 7512-82 при контроле стального образца толщиной до 10 мм. Для толщин 15 мм и 20 мм чувствительность удовлетворяет требованиям 2 класса чувствительности ГОСТ 7512-82.

Сравнение нерезкости изображений, полученных в одинаковых условиях, показывает, что панель FLAATZ-760 обеспечивает более резкое изображение.

В качестве примера, на рис. 1 приведены изображения стального образца толщиной 5 мм с расположенным на его поверхности дуплексным эталоном, полученные в одинаковых условиях с использованием цифровой панели FLAATZ-760 (а) и SDX-433CP (б). Численные значения базового пространственного разрешения, SRb, составляют соответственно 0,12 мм и 0,18 мм.

Для цифровой панели FLAATZ-760 была определена нерезкость изображения при контроле стальных образцов толщиной до 10 мм. Измерения осуществлялись в соответствии с требованиями стандарта ISO 17636-2:2013(E). Результаты измерений, минимальные значения IQI дуплексного проволочного эталона и максимальные значения нерезкости изображений, для контроля в соответствии с классом А приведены в таблице 2.

Сравнение полученных результатов с требованиями стандарта показывает, что нерезкость изображений не соответствуют требованиям стандарта ISO 17636-2:2013(E).



а

б

Рис.1. Изображения стального листа толщиной 5 мм с дуплексным эталоном, при использовании панели FLAATZ-760 (а) и SDX-433CP (б).

Таблица 2.

Экспериментальные значения нерезкости изображений и требования стандарта ISO 17636-2:2013(E) для контроля по классу А

Толщина стали, мм	Экспериментальное значение нерезкости, мм	Требования ISO 17636-2:2013(E)	
		Минимальное IQI	Максимальная нерезкость, мм
1	0,20	D13	0,10
3	0,22	D10	0,20
5	0,23	D10	0,20
10	0,28	D9	0,26

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что современные цифровые панели как прямого, так и непрямого преобразования обеспечивают совместно с малогабаритной рентгеновской аппаратурой чувствительность, достаточную для контроля сварных соединений 5, 6 и 7 классов (ГОСТ 23055-78), если толщина контролируемой стальной конструкции не превышает 25 мм. При создании малогабаритного интроскопа, предназначенного для контроля сварных соединений в качестве детектора целесообразно использовать цифровую панель прямого преобразования рентгеновского излучения типа FLAATZ-760.

МАЛОГАБАРИТНЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Потрахов Н. Н. (СПбГЭТУ)

Как показывает клиническая практика, основным и, пожалуй, единственным недостатком технологии микрофокусной рентгенографии при ее использовании в целях медицинской диагностики является низкая интенсивность излучения, генерируемого рентгеновскими аппаратами с размером фокусного пятна трубки 0,1 мм и менее. Это обусловлено естественными физическими ограничениями мощности, подводимой к мишени рентгеновской трубки электронным пучком малого сечения [1].

Известные способы повышения величины интенсивности (экспозиционной дозы) излучения: увеличение напряжения на рентгеновской трубке и времени экспозиции, а также уменьшение фокусного расстояния – малопригодны при микрофокусной съемке массивных малоконтрастных или подвижных органов. Поэтому методики микрофокусной съемки успешно используются пока в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, травматологии, а также ветеринарии [2, 3].

Для расширения областей применения технологии микрофокусной рентгенографии были исследованы возможности повышения мощности микрофокусных рентгеновских аппаратов в результате модернизации отечественных рентгеновских трубок с вращающимся анодом серии БД и со стационарным анодом серии БП производства ЗАО «Светлана-Рентген» (Санкт-Петербург). Модернизация проводилась путем изменения конструкции катодного узла трубок с целью обеспечения возможности регулировки размеров фокусного пятна за счет изменения распределения электрического поля в прикатодной области [4].

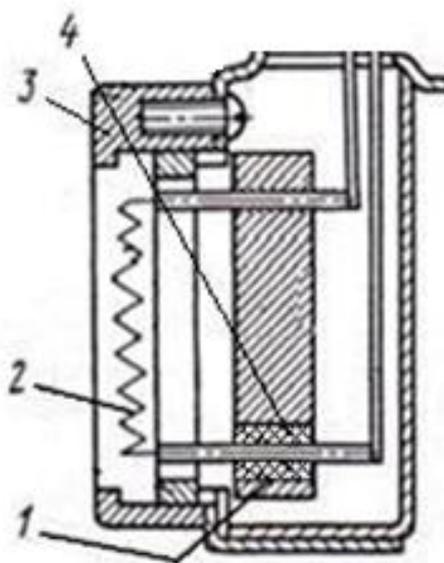


Рис. 1. Катодный узел двух-электродной рентгеновской трубки.

- 1 – держатель катода;
- 2 – прямонакальный катод;
- 3 – фокусирующий электрод;
- 4 – керамический изолятор.

Как известно, в конструкции трубок указанных серий в общем случае используется катодный узел в составе: держатель 1, прямонакальный катод 2 и цилиндрический фокусирующий электрод 3. Один из выводов катода соединен с фокусирующим электродом, второй – электрически изолирован от него посредством керамической втулки 4 (рис. 1). Размер фокусного пятна определяется размерами и формой центрального отверстия в фокусирующем электроде и размерами, формой и глубиной «садки» катода.

На первом этапе модернизации второй вывод катода был также изолирован от фокусирующего электрода, а для подачи на него управляющего напряжения в цоколе трубки был сделан специальный вывод. Таким образом, фокусирующий электрод превратился в управляющий.

В итоге конструкция модернизируемой рентгеновской трубки из двухэлектродной стала трехэлектродной: катод, анод и управляющий электрод. При работе на такую трубку необходимо подать, помимо накального и анодного напряжений, напряжение на управляющий электрод, отрицательной по отношению к катоду полярности, для регулировки (уменьшения) размеров фокусного пятна. Поскольку трубки указанных серий работают по электрической схеме с заземленным анодом, источник управляющего напряжения (также, как и накального) должен быть электрически и конструктивно «развязан» на максимальное анодное напряжение трубки.

Испытания действующих образцов показали, что во всех модернизированных трубках напряжение на управляющем электроде, при котором ток трубки уменьшается до нуля (напряжение запираения - $U_{\text{зап}}$) составляет от нескольких десятков до несколько сот вольт. Технологически такие значения $U_{\text{зап}}$ вполне допустимы при разработке малогабаритных источников рентгеновского излучения.

В таблице 1 представлены основные характеристики рентгеновских аппаратов повышенной мощности серии РАП, предназначенных для медицинской диагностики.

Таблица 1.

Характеристики рентгеновских аппаратов серии РАП

Тип источника	РАП-70М	РАП-120М	РАП-160М	РАП-200М	РАП-140М
Габариты, мм	80×140×155	80×130×260	110×150×320	120×180×340	80×130×260
Вес, кг	1,6	3,5	8	12	6
Тип трубки	0,3БДМ-70	0,2БПМ120	0,3БПМ34-160	0,2БПМ 64-200	0,144БПВ3-140
Максимальное напряжение, кВ	70	120	160	200	140
Максимальный ток, мА	2	0,5	2	1,6	1,0
Минимальный характерный размер фокусного пятна, мм	0,2	0,2	0,2	0,05	0,1
Режим работы	Повторно-кратковременный	Повторно-кратковременный	Повторно-кратковременный	Повторно-кратковременный	Повторно-кратковременный
Мощность, Вт (диаметр 0,1 мм)	-	-	-	60	100

На рисунке 2 представлен внешний вид моноблоков рентгеновских аппаратов: РАП-70М с масляной высоковольтной изоляцией и РАП-160М с комбинированной масляно-твердотельной изоляцией (без корпуса).

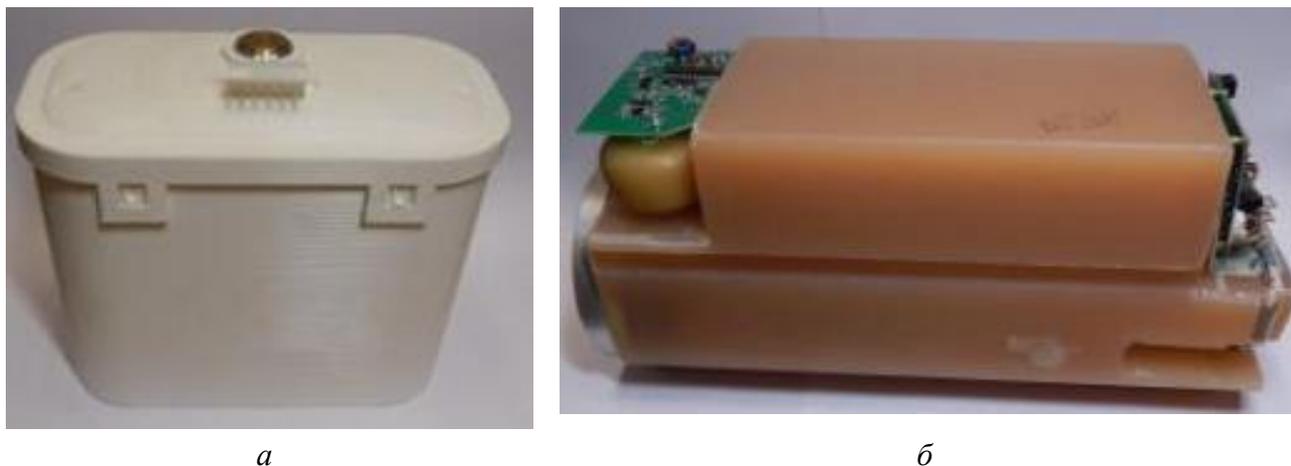


Рис. 2. Моноблок аппарата РАП-70 с масляной высоковольтной изоляцией (а) и моноблок аппарата РАП-160М с комбинированной изоляцией (б).

С целью дальнейшего уменьшения размеров фокусного пятна при сохранении величины анодного тока до несколько сот микроампер на втором этапе работ была исследована возможность использования типовой конструкции катодного узла специализированных микрофокусных трубок серии БС. По такой схеме разработана первая отечественная микрофокусная рентгеновской трубки на 200 кВ – 0,2БПМ64 – 200.

В отличие от трубок серии БС эта трубка имеет расположенный внутри стеклянного баллона анодный узел со скошенной под углом 30 градусов массивной мишенью. Соответственно, генерируемое рентгеновское излучение выходит в бок по отношению к оси трубки через стенку баллона, а также высоковольтную изоляцию и корпус моноблока. Такая конструкция наряду с повышением мощности обуславливает также и существенное увеличение толщины первичного фильтра и фокусного расстояния по сравнению с микрофокусными трубками серии БС. Основные характеристики источника излучения РАП-200М на основе этой трубки представлены в таблице 1. Эквивалентная толщина первичного фильтра по алюминию составляет мм, минимальное фокусное расстояние 60 мм.

Как известно, минимизировать фокусное расстояние, а также степень фильтрации излучения элементами конструкции рентгеновской трубки и моноблока позволяет анодный узел с вынесенной из баллона трубки мишенью. На рисунке 3 представлен габаритный чертеж рентгеновской трубки 0,144БПВ33-120 трехэлектродной конструкции с полым вынесенным анодом и установленной в торце анодной трубы массивной водоохлаждаемой мишенью.

Благодаря наличию управляющего электрода, а также постоянного кольцевого магнита, надеваемого на анодную трубу, источник излучения на основе этой трубки (РАП-120М) в режиме длительного включения имеет фокусное пятно с характерным диаметром около 0,1 мм при максимальной мощности 100 Вт (таблица 1).

Испытания рентгеновских аппаратов, разработанных на основе модернизированных трубок, проводились в лаборатории рентгенотелевизионных систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета им. В.И. Ульянова (Ленина).

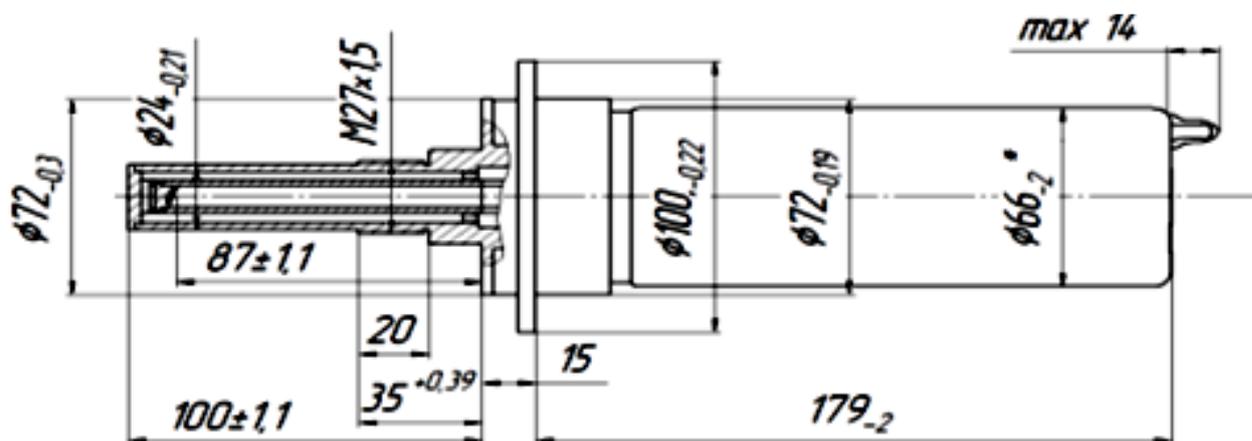


Рис. 3. Рентгеновская трубка 0,144БПВ33-120.

Результаты испытаний показали, что указанные источники с успехом могут быть использованы при разработке современных отечественных рентгенодиагностических, в том числе, томографических комплексов высокого разрешения для целого ряда областей медицины [7]. В качестве примера на рисунке 4 представлен портативный микрофокусный рентгеновский аппарат РАП-100М с автономным питанием от встроенного аккумуляторного источника. Аппарат с успехом используется в ветеринарии для высоко информативной съемки мелких и средних животных.



Рис. 4 Портативный микрофокусный рентгеновский аппарат серии РАП с автономным питанием.

Литература

1. Мазуров А. И., Потрахов Н. Н. Возможности и ограничения микрофокусной рентгенографии в медицине // Биотехносфера. 2010. – №4. – С. 20-24.
2. Васильев А. Ю., Потрахов Н. Н., Бойчак Д. В., Петровская В. В., Горюнов С. В., Грязнов А. Ю., Потрахов Е. Н., Коваленко Ю. Н., Балашов С. В., Миронова Ю. А. Малодозовая цифровая микрофокусная рентгенография: лабораторные и клинические исследования возможностей диагностики повреждения костной ткани // Радиологический вестник. – 2011. – №1. – С. 13-16.
3. Гребнев Г. А., Потрахов Н. Н., Клестова И. А., Сливкин А. А. Диагностика очагов одонтогенной инфекции у военнослужащих из числа молодого пополнения в условиях стоматологического кабинета войсковой части // Инфекции в хирургии. 2012. Том 10, №1, С. 8-10.
4. Пат. на полезн. мод. №107468. Рентгеновская трубка с вращающимся анодом. Потрахов Н. Н., Потрахов Е. Н. заявл. 10.03.11, зарег. 20.08.11, опубл. 20.08.11, бюл.№23.
5. Мазуров А. И., Потрахов Н. Н. Микрофокусная рентгенография в медицине // Медицинская техника. – 2011. – №5. – С.30-34.

ПЕРСПЕКТИВЫ ТРУДОУСТРОЙСТВА ВЫПУСКНИКОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА РЕНТГЕНОВСКОЙ АППАРАТУРЫ

Грязнов А. Ю., Жамова К. К., Холопова Е. Д. (СПбГЭТУ)

Существовавшая в советское время система подготовки инженерных кадров для электронной промышленности к настоящему времени практически полностью разрушена. Новая, двухуровневая система (бакалавриат-магистратура) не полностью соответствует требованиям, предъявляемым к молодому инженеру на радиоэлектронных предприятиях – бакалавр представляется работодателю «недоучкой», каковым зачастую и является, а магистерская подготовка, за исключением некоторых программ, достаточно сильно оторвана от практики.

Поскольку в сложившейся ситуации формы, уровень и объемы высшего образования диктуются федеральным законом 273-ФЗ и соответствующими образовательными стандартами, отступление от которых, естественно, невозможно, необходимо модифицировать подготовку инженерных кадров в рамках действующего законодательства, но с максимальным учетом потребностей современной электронной промышленности.

Современные образовательные стандарты, частично пересекаясь с традиционными методиками подготовки инженеров в советское время, подразумевают значительное количество часов практик при обучении в бакалавриате и еще больше - для проведения самостоятельной научно-исследовательской работы в магистратуре.

Требования, предъявляемые со стороны промышленности к молодым специалистам зачастую противоречивы и порой представляются завышенными с формальной точки зрения – фраза «требуется выпускник с пятилетним опытом работы» звучит практически также, как советское «нет прописки – нет работы, нет работы – нет прописки».

Предполагая заинтересованность предприятий (в том числе производителей рентгеновской техники) в квалифицированных кадрах, единственным выходом является совместная подготовка таких кадров вузами и предприятиями совместно, начиная с третьего-четвертого года обучения. Этот принцип декларируется постоянно, однако мы практически не видим достойных примеров его реализации.

В нашей области – рентгеноаппаратостроении – ситуация осложняется тем, что, в отличие, например, от машиностроения, круг производителей рентгеновской аппаратуры достаточно ограничен, а еще больше ограничено число вызов, готовящих специалистов для этой области. Однако, именно этот факт, а также то, что производство рентгеновской аппаратуры и подготовка специалистов для этого производства сосредоточена, в основном, в двух центрах – Санкт-Петербурге и Москве, дает нам возможность оптимизировать процесс подготовки инженеров для рентгеновской отрасли. Наш вуз готов в рамках сотрудничества с предприятиями на третьем – четвертом курсе обучения организовывать собеседования представителей предприятий с небольшими группами студентов (например 5-7 человек) с тем, чтобы представители предприятий отбирали из них требуемое количество будущих инженеров для дальнейшей подготовки. Со стороны вуза для указанных студентов может быть организован режим наибольшего благоприятствования с точки зрения расписания

(вплоть до составления индивидуального плана обучения), участия в курсах повышения квалификации, стажировках и конференциях.

Такие студенты могут проводить на предприятии 2-2.5 дня в неделю на четвертом курсе и от трех дней, начиная с пятого курса. Таким образом, к моменту защиты магистерской диссертации (так же, разумеется, пишущейся по тематике предприятия) фирма получает готового специалиста, полностью погруженного в ее текущие задачи.

К сожалению, многие предприятия не заинтересованы в длительном процессе подготовки кадров, что может лишь вызывать сожаление. Проведенный нами опрос выпускников последних пяти лет, показывает, что выпускники нашей кафедры и нашего факультета в большинстве случаев находят себе работу по специальности (более 60 %, что вполне вероятно, является рекордом по вузу). При этом многие из них начинают с зарплаты порядка 25 т.р. и через 2-3 года она возрастает в 1.5 – 2 раза. При этом, согласно результатам нашего опроса, желаемая зарплата выпускников по окончании института составляет порядка 35 т. р., что не превышает «официальной средней заработной платы» по нашему региону.

Таким образом, совместная подготовка студентов в формате «50% учебы в вузе – 50% на предприятии» представляется на сегодняшний день оптимальной для обеспечения качества образования и относительно малозатратной для заинтересованного предприятия (10-15 т.р. в месяц на специалиста), а конкуренция, которая возникнет между студентами за право получать образование по предлагаемой форме, также положительно скажется на качестве образовательного процесса.

НОВЫЙ МЕТОД РФА В УСЛОВИЯХ ПОЛНОГО ВНЕШНЕГО ОТРАЖЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СХЕМЕ С ВОЛНОВОДОМ-РЕЗОНАТОРОМ

***Лукьянченко Е. М., Руденко В. Н. (ООО «Полюс»),
Егоров В. К., Егоров Е. В. (ИПТМ РАН)***

Метод рентгенофлуоресцентного анализа с полным внешним отражением в схеме с волноводом-резонатором (РФА ПВОВР) может быть назван новым методом РФА, и не только из-за аппаратурных особенностей реализации, но и по совокупности физических условий возбуждения флуоресцентного излучения, высоких аналитических характеристик и возможностей, предоставляемых исследователю.

Метод базируется на фундаментальных работах В.К. Егорова по созданию, обоснованию и экспериментальным исследованиям плоского рентгеновского волновода-резонатора.

Рассмотрим эволюцию рентгенооптических схем РФА. Традиционная схема РФА может быть проиллюстрирована на примере отечественного энергодисперсионного анализатора БРА-18 (рис. 1).

В этой схеме углы падения первичного излучения на образец и отбора излучения достаточно большие, - в пределах 10-90 град. Контрастность аналитических линий определяется фоном рассеянного тормозного спектра первичного излучения и тормозного излучения, генерируемого в образце.

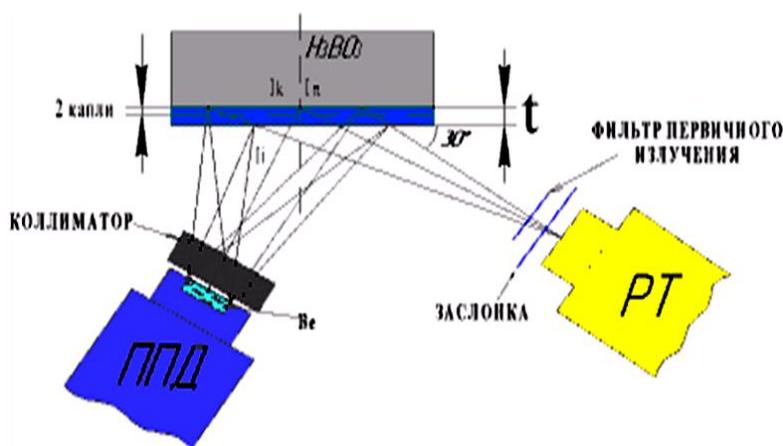


Рис. 1. Схема РФ анализа тонких слоев на подложке (БРА 18).

Уменьшение угла падения первичного излучения на образец до значения угла полного внешнего отражения θ_k (рис. 2а) позволяет резко повысить контрастность аналитических линий (отношение сигнал/фон), т.к. первичное рентгеновское излучение практически перестает проникать в подложку, что приводит к резкому уменьшению интенсивности фона при отсутствии матричных эффектов. Кроме того увеличивается эффективность возбуждения. Все это позволяет существенно снизить предел обнаружения химических элементов. Идея использовать эффект ПВО в РФА была высказана в 1971 году, а с середины 70-х годов разрабатывается методика РФА ПВО [1]. Несмотря на простоту рентгенооптической схемы и явные аналитические достоинства метода РФА ПВО (в зарубежной транскрипции TXRF) серийные аппараты появились только в 2000 годах (на рис.2а представлена схема из проспекта прибора Nanohanter, фирмы Rigaku). Сказывались трудности аппаратной реализации метода, в первую очередь создание узкого интенсивного пучка первичного излучения, падающего на образец под углом порядка 0,1 град.

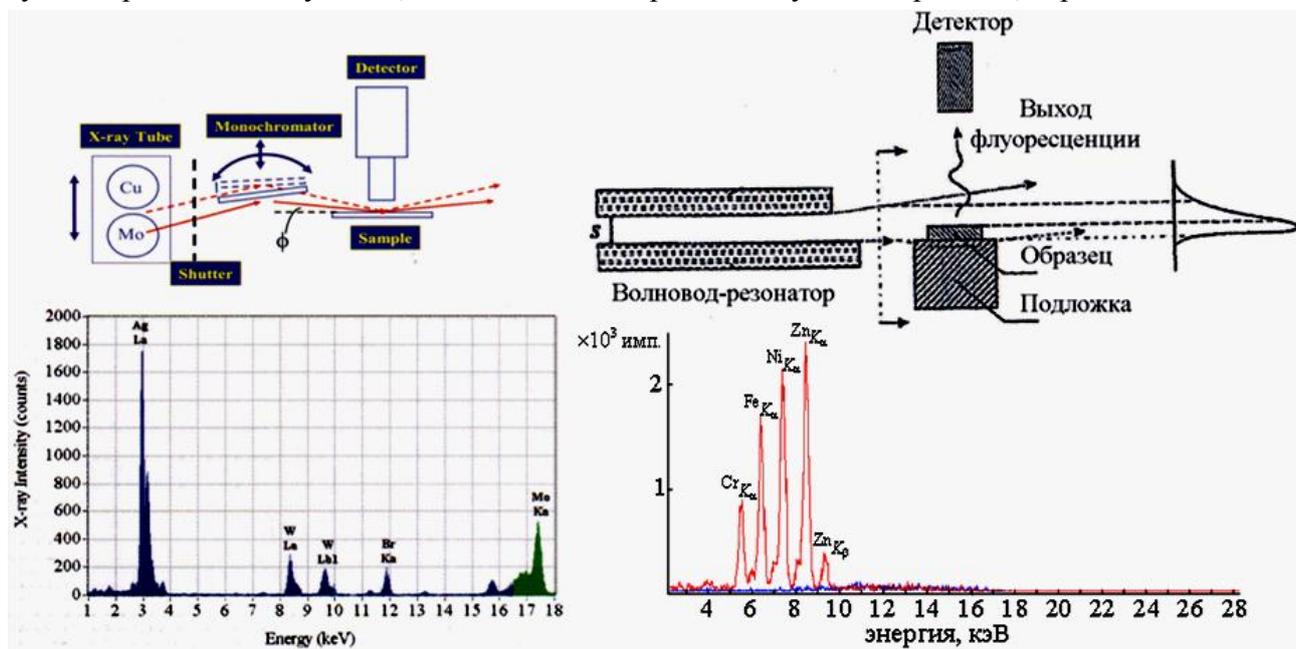


Рис. 2. Сравнение рентгенооптических схем РФА ПВО (а) и РФА ПВОБВР (б).

Важнейшим фактором, определяющим эффективность метода РФА ПВО, является значение величины радиационной плотности потока. Увеличение этого параметра может быть достигнуто либо тривиальным увеличением мощности источника радиации, либо

повышением эффективности формирователя потока возбуждения. Реализация второго направления оказалась весьма плодотворной при использовании в качестве формирователя этого потока плоского рентгеновского волновода-резонатора (ПРВР) В.К.Егорова [2, 3]. Формируемый ПРВР поток имеет нитевидную форму наноразмерной ширины, характеризуется повышенной радиационной плотностью, на 3-4 порядка превышающую значение данного параметра, характерное для обычно применяемых формирователей потока в РФА ПВО спектрометрах. Применение ПРВР в качестве устройства формирования потока возбуждения в спектрометрах РФА ПВОВР позволяет существенно снизить пределы обнаружения, что позволяет этим спектрометрам [4] реально конкурировать по чувствительности анализа с масс-спектрометрами, при этом сохраняя все преимущества рентгенофлуоресцентной спектрометрии.

Волноводно-резонансный механизм транспортировки рентгеновского излучения, открытый и обоснованный В.К. Егоровым [5], является базовым преимуществом метода РФА ПВОВР перед традиционным РФА ПВО. На рисунке 3 приведена схема образования однородного интерференционного поля стоячей рентгеновской волны в наноразмерном щелевом зазоре.

Волновод – резонатор (ВР) обеспечивает практически параллельный поток возбуждающего излучения высокой радиационной плотности в 10^3 раз превышающий плотность обычных источников рентгеновского излучения. Использование уникальных свойств ВР и создает метод (РФА ПВОВР).

Отличий нового метода РФА ПВО с волноводом (РФА ПВОВР) от традиционного РФА ПВО несколько:

- исследование объекта идет практически в параллельном пучке, с более высокой радиационной плотностью потока;
- возбуждение ПВО в параллельном пучке эффективнее, чем при наклонном падении;
- независимость агрегатного состояния анализируемого объекта: твердое, порошкообразное, жидкое;
- возможность перемещения анализируемого образца в плоскости сечения возбуждающего потока;
- большая гибкость в изменении условий эксперимента, а именно, возможность наклона и вращения объекта для изучения структуры поверхностного слоя наряду с РФА ПВОВР.

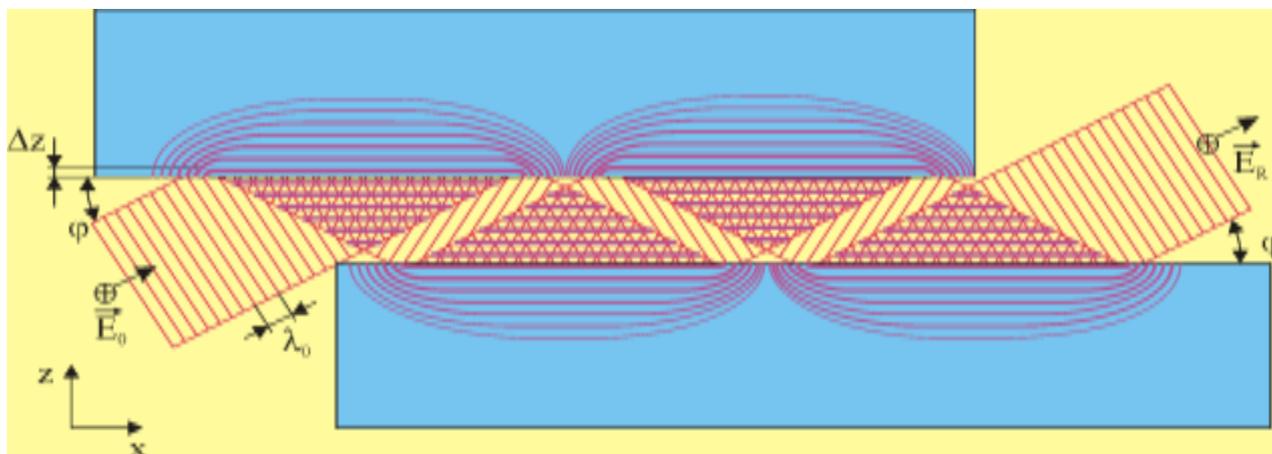


Рис. 3а. Схема образования интерференционного поля стоячей волны при многократном последовательном ПВО потока РИ в щели плоской волноводной структуры.

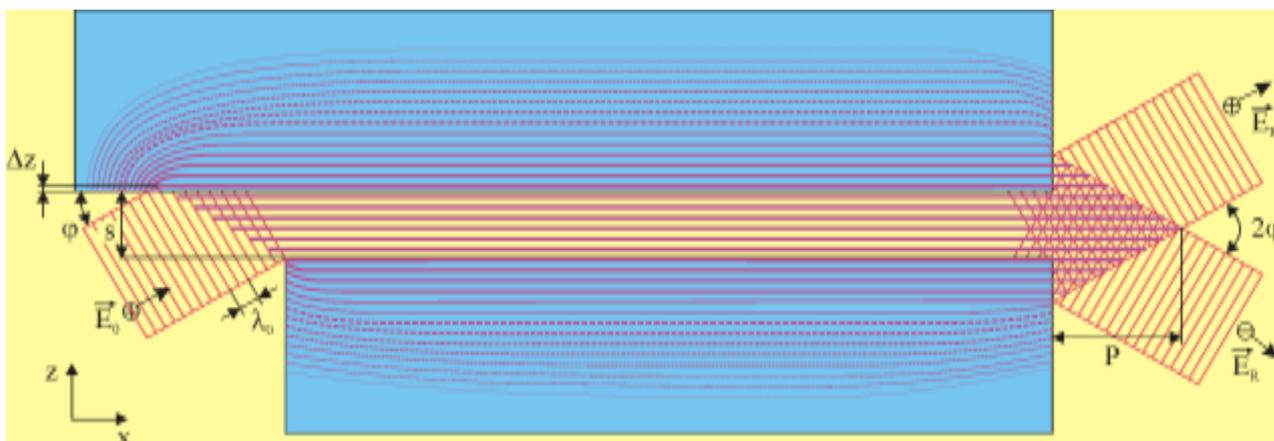


Рис. 3б. Принципиальная схема образования однородного интерференционного поля стоячей волны в плоском рентгеновском волноводе-резонаторе.

Полезность этих отличий проверена экспериментально при различных видах исследований и на различных объектах: осадки растворов, тонкие пленки, фильтры, твердые монокристаллические образцы, порошки, биологические ткани, кровь, продукты питания, шлифы и аншлифы минералогических образцов. Результаты экспериментальных исследований подтверждают преимущества РФА ПВОВР. На рисунках 4 и 5 представлены результаты некоторых исследований. Высокая радиационная плотность потока возбуждения позволяет получить предел обнаружения, превосходящий перспективные данные лучших зарубежных приборов, - при анализе образцов воды получен предел обнаружения по массе $4 \cdot 10^{-13}$ г (рис. 4а), по сравнению с перспективными данными 10^{-12} г у Nanohanter (Rigaku) и Picofox 2 (Bruker). Спектр капли крови (рис. 4б) показывает возможности РФА ПВОВР в области анализа биологических и медицинских объектов. Возможности, которые предоставляет метод ПВОВР при исследовании тонкопленочных образцов, в частности, изменение условий анализа путем введения исследуемого объекта в возбуждающий поток иллюстрирует рис. 5. На рис.5б представлен спектр той же Та пленки на подложке, что и на рис.5а, но с введением образца в поток возбуждающего излучения, - соотношение линий Са и Тi, входящих в состав подложки, по сравнению с линиями Та изменилось. Это предоставляет возможность изучения переходных слоев в тонкопленочных образцах.

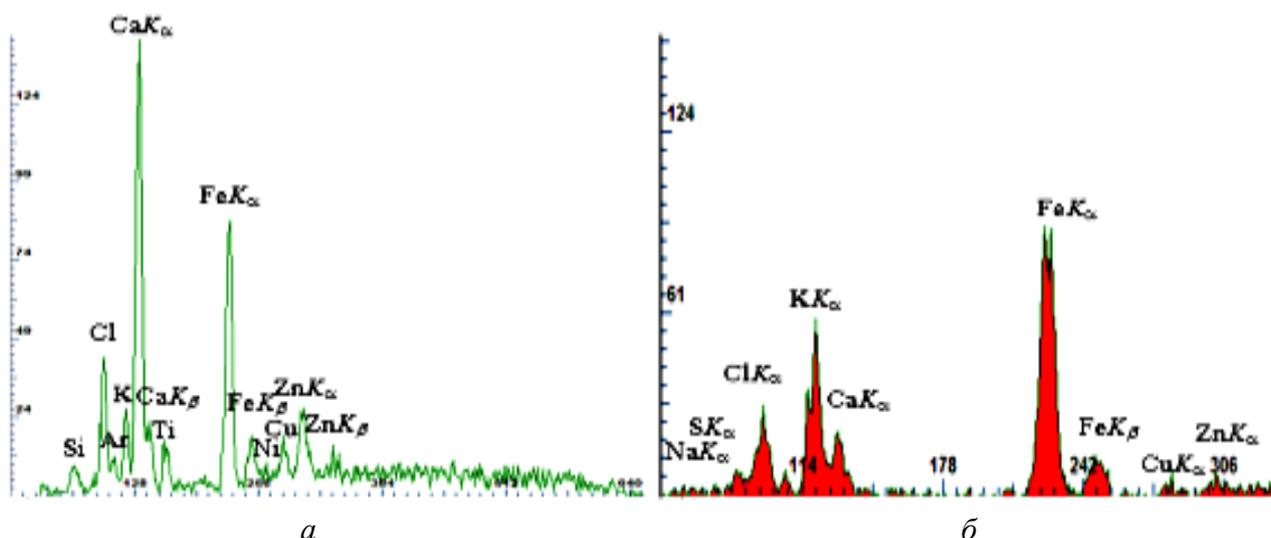


Рис. 4. Спектр осадка двух капель воды (а) и спектр одной капли крови человека (б).

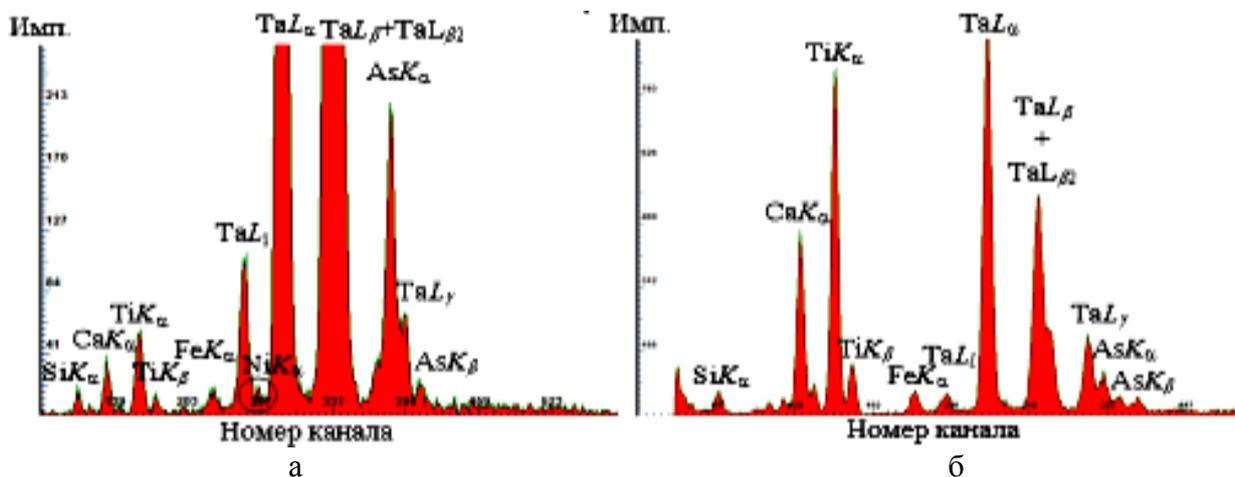


Рис. 5. Спектры Ta покрытия, на приборе «ПВОВР ДРОН-3» (а) – в режиме ПВОВР поверхность и (б) – в режиме ПВОВР с введением многослойного покрытия в возбуждающий поток с возбуждением подложки.

Оценивая базовые отличия физических процессов возбуждения вторичной флуоресценции и совокупность преимуществ и отличий можно говорить о новом методе РФА ПВОВР, или по крайней мере, о глубокой модификации традиционного метода РФА ПВО.

Литература

1. Aiginger H., Wobrauschek P./ Nucl.Instr.Methods. 1974.V.114.N.157-163.
2. Egorov V.K., Egorov E.V./ Spectrochim. Acta B. 2004.V.59. p.1049-1069.
3. Egorov V.K., Egorov E.V./ Appl.Surf.Sci. 2006.V.253. P.138-144.
4. Лукьянченко Е.М., Егоров В.К., Руденко В.Н., Егоров Е.К. «Компактный прибор для рентгенофлуоресцентного анализа с полным внешним отражением «РФА ПВОВР ДРОН-3», Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии (с международным участием), 2012г, Краснодар, материалы конференции, С. 158.
5. В.К.Егоров, ЕВ.Егоров, «Условия реализации радиационной сверхтекучести и некоторые свойства пучков, сформированных плоскими рентгеновскими волноводами – резонаторами», Поверхность. 2007. №1. С. 82-99.

ОПТИМИЗАЦИЯ СКРИНИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ В ЦИФРОВОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ

Водоватов А. В., (ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П. В. Рамзаева»)
Камышанская И. Г., Дроздов А. А. (Городская Мариинская больница)

Защита пациентов от медицинского облучения реализуется главным образом за счет использования принципа оптимизации, что подразумевает под собой снижение дозы пациентов при неизменном качестве рентгеновского изображения. В современной цифровой рентгенографии, проводящейся с использованием автоматического контроля экспозиции (АКЭ), единственным из доступных и реализуемых на практике способов влияния на дозу является ручная коррекция режимов проведения той или иной процедуры. Как правило, даже если режимы проведения процедуры жестко заложены производителем рентгеновской аппаратуры в программном обеспечении (ПО) рентгеновского аппарата, у оператора все равно остается

возможность мануальной коррекции анодного напряжения, чувствительности приемника изображения, изменения толщины дополнительной фильтрации и использования отсеивающей решетки (растра).

В 2014 г. лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций была проведена работа по определению оптимальных по дозе и качеству изображения параметров проведения скрининговых исследований органов грудной клетки в задне-передней проекции. Данная работа была выполнена на базе Городской Мариинской больницы. Объектами исследования являлись два цифровых рентгеновских аппарата производства ЗАО НИПК «Электрон»: АРЦ-Электрон и флюорограф ФЦ-Электрон. Стандартными напряжениями для выполнения данных исследований являются 90 и 100 кВ соответственно. В качестве ключевых параметров проведения данного исследования были выбраны анодное напряжение (кВ), толщина дополнительной фильтрации (мм Al или Cu) и наличие или отсутствие раstra. Исследование проводилось с помощью антропоморфного гетерогенного фантома грудной клетки человека Multipurpose Chest Phantom N1 "LUNGMAN" (Kyoto Kagaku Co, Япония). Фантом устанавливался в стандартное для пациента положение у стойки; поле облучения было отколлимировано по размеру области исследования. Снимки выполнялись на стандартных для каждого аппарата настройках (включенный АКЭ, активные правый и левый датчики АКЭ, малый фокус, расстояние источник-приемник 150 см). Аппараты были оборудованы стандартным набором сменных фильтров (2 мм Al, 0 мм Al, 1 мм Al + 0,1 мм Cu, 1 мм Al + 0,2 мм Cu). На каждом аппарате была выполнена серия снимков с каждым из сменных фильтров на диапазоне анодного напряжения 50-125 кВ с шагом в 5 кВ. Для аппарата АРЦ-Электрон было выполнено две серии снимков, со стандартным для данного аппарата растром и без него. Полученные снимки не подвергались постобработке. Для каждого снимка фиксировались время экспозиции (мс), экспозиция (мАс), напряжение (кВ), произведение дозы на площадь (ПДП, сГр*см²). ПДП измерялось с помощью клинических дозиметров ДРК-1, установленных на каждом из аппаратов производителем. По результатам измерения ПДП для каждого снимка была рассчитана эффективная доза с помощью ПО «РСХМС» (STUK, Финляндия). Расчёт производился для стандартного 30-летнего человека с использованием взвешивающих коэффициентов из 10³ публикации МКРЗ.

По результатам определения ПДП и эффективной дозы были построены зависимости данных дозовых характеристик от напряжения и толщины дополнительной фильтрации, с растром и без него. Примеры зависимостей приведены на рисунке 1 и 2.

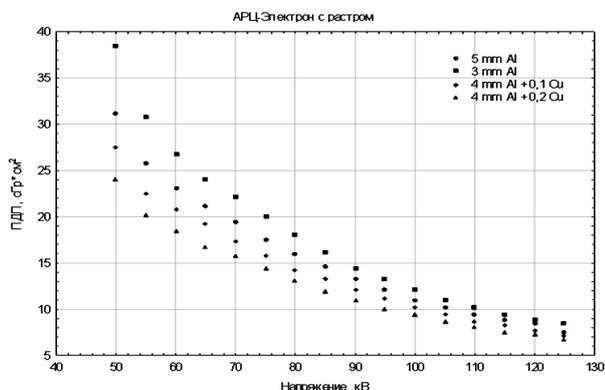


Рис. 1. Зависимость ПДП (сГр*см²) от напряжения для аппарата АРЦ-Электрон с растром.

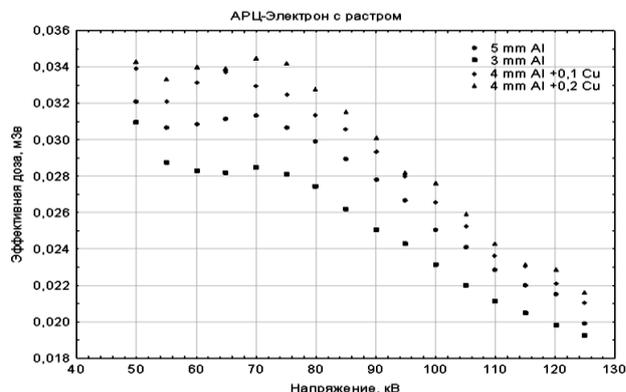


Рис. 2. Зависимость эффективной дозы (мЗв) от напряжения для аппарата АРЦ-Электрон с растром.

Повышение анодного напряжения до 125 кВ позволяет снизить как ПДП, так и эффективную дозу на 20% по сравнению со стандартным режимом. При увеличении толщины дополнительной фильтрации ПДП снижается, причем на высоких напряжениях различия в ПДП между различными фильтрами минимальны. Однако, с увеличением толщины дополнительной фильтрации эффективная доза возрастает на 10-20%, что связано с увеличением вредной энергии рентгеновского пучка и увеличением времени экспозиции. Отказ от использования раstra позволяет значительно (на 70-80%) снизить как ПДП, так и эффективную дозу по сравнению со стандартным режимом.

По результатам выполненного исследования были рекомендованы следующие изменения в текущих режимах проведения скринингового исследования органов грудной клетки: повышение анодного напряжения до 125 кВ, использование минимально возможной толщины полной фильтрации в 3 мм Al, отказ от использования раstra на аппарате АРЦ-Электрон.

РЕНТГЕНОВСКИЙ ИСТОЧНИК НА ОТПАЯННЫХ ТРУБКАХ С ПОЛЕМ СКАНИРОВАНИЯ ФОКУСНОГО ПЯТНА 15ММ.

*Гелевер В. Д., Лебедев М. Б., Усачев Е. Ю.
(МГТУ МИРЭА)*

Для контроля методом цифровой ламинографии микросхем, имеющих габаритные размеры в пределах 10-20 мм, был разработан рентгеновский источник на отпаянных трубках с полем сканирования фокусного пятна 15 мм. Цифровая ламинография позволяет получать резкое изображение выбранных слоев объекта на фоне нерезких изображений других слоев. Одним из условий ее реализации является возможность перемещения относительно объекта фокусного пятна. Это можно делать, перемещая саму трубку или перемещая фокусное пятно по мишени электрически с помощью отклоняющих систем. Значительно проще и точнее перемещать электронный пучок по мишени. Для этого варианта была изготовлена трубка с рабочим диаметром мишени примерно 15 мм при внешнем диаметре корпуса мишени 20 мм (рис. 1). Желательно было бы иметь побольше диаметр мишени, но данный размер определялся техническими возможностями оборудования по изготовлению трубок.



Рис.1. Рентгеновская трубка.



Рис.2 Трубка с системой фокусировки.

Для обеспечения одинакового размера электронного пучка, как в центре, так и на краю мишени была разработана специальная двухлинзовая система магнитных линз (рис. 2), которая минимизирует aberrации отклонения пучка от оси.

Первая короткофокусная (5-10 мм) линза обеспечивала максимальное уменьшение ≈ 10 крат. А в пространстве между первой линзой и мишенью размещалась длинная линза, которая работает с уменьшением около 1. Длинная линза представляет собой длинную катушку со средним диаметром порядка 100 мм и с наружным панцирем. У длинных линз с большой полушириной магнитного поля низкие aberrации отклонения. Они обеспечивают минимальное увеличение электронного пучка при отклонении от центра на 10-20 мм. Внутри длинной линзы размещены отклоняющие системы для отклонения пучка от оси. Для испытания рентгеновского источника было использовано растровое питающее устройство (РПУ) и полупроводниковый рентгеновский детектор. РПУ обеспечивало питание катушек магнитных линз и отклоняющих систем, сканирование электронного пучка с помощью токов разверток и усиление сигнала от детектора для формирования изображения поверхности мишени в растровом режиме.

Первоначально в ходе испытаний получалось изображение поверхности мишени в центре при увеличении в несколько сот крат и по нему оценивается разрешение и минимальное фокусное пятно. Затем процедура повторялась при смещении пучка на край мишени. В обоих случаях получались примерно одинаковые по резкости изображения с разрешением 5-7 мкм. Эти испытания показали, что система фокусировки электронного пучка обеспечивает примерно одинаковый размер фокусного пятна на краю и в центре. Кроме того, возможности данной системы фокусировки были показаны на макете разборной рентгеновской трубки с мишенью, которая была нанесена на бериллиевую подложку диаметром 30 мм и толщиной 1 мм. Заметного увеличения фокусного пятна не наблюдалось и при отклонении пучка на 15 мм от края. В принципе, первая линза может быть заменена на постоянный магнит, который часто используется.

Данная система фокусировки может быть в слегка измененном варианте применена для получения фокусного пятна на уровне 5-10 мкм в трубке с вынесенным анодом (мишенью) на расстоянии 200-300 мм. При этом диаметр трубки в районе мишени будет примерно 15-20 мм. Это позволило бы проводить досмотр трудно доступных мест в контролируемом оборудовании. В качестве длинной катушки можно использовать катушку в несколько слоев проводов, которая была бы намотана прямо на трубку из нержавеющей стали, которая соединяет мишень и цоколь рентгеновской трубки. Если при этом трубку соединить с системой охлаждения мишени, то одновременно обеспечится охлаждение обмотки, что даст возможность значительно увеличить плотность тока в обмотке и число ампер-витков при минимальном диаметре обмотки и числе слоев. Возможен также вариант без первой уменьшающей линзы. Тогда на трубку из нержавеющей стали, которая соединяет мишень и цоколь рентгеновской трубки, наматывается один и несколько слоев толстого провода. Такая длинная линза маленького диаметра обеспечит уменьшение близкое к 1. Если секционировать такую катушку, то можно минимизировать aberrации и управлять уменьшением линзы.

ИМПУЛЬСНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ АППАРАТЫ НА БАЗЕ ВЗРЫВНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ

Пеликс Е. А. (ООО «Спектрофлеш»)

Одной из основных проблем при конструировании рентгеновских аппаратов для работы в нестационарных условиях является проблема создания блока излучения минимальных габаритов и веса [1]. И хотя в последние годы большинство фирм-разработчиков рентгеновской техники перешло на производство генерирующих моноблоков, работающих на высокой частоте преобразования напряжения питающей сети в высокое напряжение с последующим его умножением и выпрямлением, тем не менее, вес этих моноблоков, как правило, составляет 15-30 кг. Это сильно затрудняет использование моноблочных рентгеновских дефектоскопов в трассово-монтажных условиях.

Строительство крупнейших трубопроводных систем России ведется на Востоке страны, где в отсутствие инфраструктуры, основным инструментом контроля качества сварных стыков трубопроводов становятся импульсные рентгеновские дефектоскопы, поскольку их небольшие габариты и вес, возможность питания от аккумуляторов позволяют проводить эффективный контроль в сложных полевых условиях.

Принцип действия импульсных рентгеновских аппаратов основан на явлении взрывной электронной эмиссии, подробно изученной и описанной группой учёных во главе с Г.А.Месяцем [2]. Суть её заключается в следующем: при определённых значениях напряжённости электрического поля в вакуумном диоде в результате сильного разогрева локальных областей катода собственным током автоэмиссии происходит их взрыв и образование плотной плазмы, являющейся интенсивным источником электронов. Многочисленные экспериментальные исследования показали, что в начальный период времени, равный нескольким наносекундам, скорость разлёта образовавшейся плазмы в вакуум для большинства металлов составляет $(1-3) \times 10^6$ см/сек. Следовательно, можно предположить, что ток в данном вакуумном диоде ограничивается объёмным зарядом в промежутке «фронт движущейся плазмы-анод». А стало быть, такой диод является вакуумным диодом с сокращающимся промежутком «анод-катод». Образовавшаяся на катоде плазма приводит к созданию на катоде вакуумного диода жидкой составляющей металла, из которого под действием электрического поля вытягиваются микроострия и на твёрдой части катода возникают кратеры. Таким образом, создаётся определённый микрорельеф катода. С каждым импульсом тока какое-то количество микроострий катода исчезает, а какое-то образуется вновь. Этот процесс получил название эффекта самовосстанавливающегося катода.

Из сказанного выше можно сделать только несколько практических допущений. Плазменный катод при определённых условиях можно рассматривать как обычный металлический, поэтому при определении вольтамперных характеристик рентгеновских трубок с взрывной электронной эмиссией можно пользоваться всеми средствами, разработанными для обычных диодов с накальным катодом, учитывая только, что ток в данном случае увеличивается по сравнению с законом степени трех вторых за счёт сокращения зазора «анод-катод» при движении плазмы. Существует определённая зависимость между напряжённостью электрического поля на катоде трубки, амплитудой тока и сроком её службы. Речь идёт о реализации режима «самовосстанавливающегося

катода». Данные допущения определяют перечень требований к выходным параметрам источника высокого напряжения, питающего рентгеновскую трубку с взрывным катодом:

Во-первых, источник должен создавать на выходе импульс высокого напряжения с амплитудой, обеспечивающей напряжённость электрического поля на катоде трубки порядка 10^6 В/см. При этом длительность фронта этого импульса не должна превышать единиц наносекунд. Только при этих условиях в трубке развивается процесс взрывной эмиссии.

Во-вторых, импульс тока, возникающий в вакуумном промежутке трубки, с одной стороны, должен быть достаточно мощным для получения максимальной энергии рентгеновского излучения, а с другой, длительность его должна быть меньше времени перемыкания плазмой промежутка «анод-катод трубки». В противном случае, в трубке возникает электрическая дуга, приводящая к быстрому выходу трубки из строя

Известны несколько типов высоковольтных наносекундных генераторов. Наибольшее распространение из них получили генераторы Аркадьева-Маркса, в которых происходит быстрое последовательное соединение нескольких ёмкостных накопителей, которые предварительно сравнительно медленно заряжаются в параллельном соединении, и резонансные трансформаторы Тесла, состоящие из системы двух связанных колебательных контуров. В обоих генераторах их главным элементом является газовый коммутатор, обеспечивающий запуск высоковольтных контуров.

В импульсных рентгеновских аппаратах, на разработке и производстве которых специализируется ООО «Спектрофлэш», в качестве источника высокого напряжения используется трансформатор Тесла, в котором энергия, накопленная в первичном контуре, передаётся во вторичный контур при срабатывании газового коммутатора. При этом выходное напряжение достигает своего максимального значения при некоторых фиксированных значениях коэффициента связи колебательных контуров $k = 1,0,6,0,386\bar{6}$

Как правило, разработчиками трансформаторов Тесла используется коэффициент связи $k = 0,6$, при котором обеспечивается максимальная передача энергии из первого контура во второй на первом полупериоде биений свободных колебаний, а конструкция получается наиболее простой. Коэффициент связи, равный $0,6$, легко обеспечивается в чисто воздушном трансформаторе.

В аппаратах ООО «Спектрофлэш» используется трансформатор, специально разработанный для портативных рентгеновских излучателей, на ферромагнитном сердечнике с коэффициентом связи, близким к 1. За счёт этого в трансформаторе существенно снижаются активные потери, улучшается работа коммутатора, увеличивается прочность жидкого диэлектрика в объёме высоковольтного блока. Длительность нарастания напряжения на выходе резонансного трансформатора определяется величиной индуктивности колебательных контуров и, как правило, не обеспечивает необходимой напряжённости электрического поля для образования плазменного катода в рентгеновской трубке. Для сокращения длительности фронта высоковольтного импульса разрядный контур описываемого источника, помимо коммутатора K_1 , содержит ещё обостряющий коммутатор K_2 , включённый между выходной ёмкостью C_2 и рентгеновской трубкой P_T (рис. 1). Данный разрядник представляет собой двухэлектродный коммутатор, заполненный водородом при высоком давлении, обеспечивающим время его коммутации, равное 10^{-9} сек. Такая длительность фронта импульса высокого напряжения создаёт необходимое перенапряжение на электродах рентгеновской трубки для развития взрывной эмиссии катода.

Схема замещения рентгеновского излучателя, представленная в виде, изображённом на рис. 1, позволяет наиболее полно представить физические принципы его работы и рассчитать основные параметры всех элементов. Коэффициент связи колебательных контуров трансформатора $k \approx 1 - 1/2(L_s/L_\mu)$, где L_s – индуктивность рассеяния обоих контуров, а L_μ – индуктивность намагничивания. Эффективность передачи энергии из первичной ёмкости C_1 в выходную ёмкость C_2 $\eta = 1 - \pi^2/8(L_s/L_\mu)$. Очевидно, что только при

$L_\mu \geq L_s$ обеспечивается как максимальный коэффициент связи между контурами, так и максимальный КПД источника высокого напряжения. Индуктивность L , шунтирующая рентгеновскую трубку, предотвращает пробой трубки P_T до момента полного заряда выходной ёмкости C_2 и срабатывания обостряющего коммутатора K_2 .

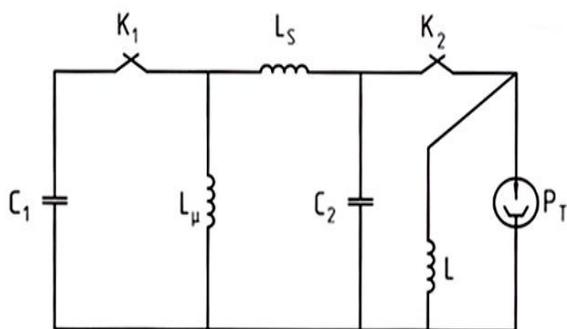


Рис. 1. Схема замещения излучателя.

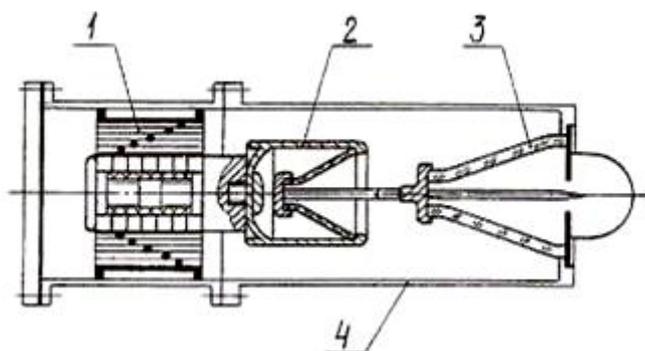


Рис. 2. Конструкция высоковольтного блока.

Опыт проектирования импульсных аппаратов с использованием данной схемы излучателя показал, что, несмотря на наличие довольно сложного в технологическом отношении элемента – обостряющего разрядника, благодаря чрезвычайно короткой длительности импульса высокого напряжения на электродах рентгеновской трубки, её габариты, а, следовательно, и габариты всего генератора существенно меньше габаритов классических моноблочных генераторов с постоянным напряжением.

Конструктивно основные элементы генератора [3]: рентгеновская трубка (3), обостряющий коммутатор (2) и импульсный трансформатор (1) располагаются в едином корпусе (4), заполненном трансформаторным маслом (рис. 2).

Рентгеновская трубка выполнена в виде стеклянного баллона, внутри которого расположен заострённый вольфрамовый стержень, являющийся анодом трубки. В качестве катода используется вольфрамовый диск с отверстием, в центре которого расположен заострённый конец анода. Внутренняя кромка диска, толщина которого равняется 20 мкм, является эмитирующей частью катода. Обостряющий коммутатор представляет собой металлический цилиндр, внутри которого расположены два электрода из тугоплавкого металла. Один из электродов припаян к крышке цилиндра, а другой – к керамическому изолятору конической формы. Внутренний объём коммутатора заполнен водородом под давлением порядка 40 атмосфер. Импульсный трансформатор содержит ферритовый стержень, на который наматывается вторичная обмотка, причём каждый её виток изолируется друг от друга слоем изоляционного материала. Первичная обмотка трансформатора выполнена из медной фольги толщиной 0,1 мм, намотанной поверх вторичной обмотки. Металлический корпус обостряющего коммутатора совместно с корпусом (4) образуют конструктивную ёмкость C_2 (рис. 2).

Описанный выше конструктив принято называть высоковольтным блоком аппарата. Первичный коммутатор K_1 , ёмкость C_1 совместно с высоковольтным блоком образуют

рентгеновский излучатель. Помимо излучателя каждый рентгеновский аппарат содержит стандартный выносной пульт управления, в котором расположены цепи управления и контроля. Излучатель и пульт управления соединяются кабелем длиной не менее 25 м. Параметры серийно выпускаемых импульсных аппаратов приведены в таблице 1 [4].

Особенности использования импульсных аппаратов типа АРИНА заключаются [5] в следующем: во-первых, аппараты данного типа, обладая существенно меньшими габаритами и весом по сравнению с аппаратами непрерывного действия, имеют меньшую среднюю мощность излучения, а, во-вторых, в них невозможно регулировать ни ток, ни напряжение. Данные обстоятельства определяют наиболее оптимальные условия их применения.

Таблица 1.

Параметры аппаратов

Характеристики	АРИНА-1	АРИНА-3	АРИНА-7	АРИНА-9	ПАМИР-200	ПАМИР-300
Рабочее напряжение, кВ	180	180	250	300	200	300
Диаметр фокусного пятна, мм	3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Толщина постали (10 мин, 700 мм), мм						
- с применением свинцовой фольги,	-	-	20	25	20	30
- с применением усиливающих экранов,	25	30	40	50	40	50
Доза излучения за имп. (на расст. 0,5 м), мР	0,5	0,6	1,0	1,2	1,0	1,2
Потребляемая мощность, Вт	100	150	250	300	250	300
Вес излучателя, кг	8,9	5,5	7,9	7,9	7,9	8,1

Как уже отмечалось выше, основное назначение импульсных дефектоскопов – контроль качества сварки промышленных сооружений в нестационарных условиях. При этом очень важно правильно выбрать условия рентгенографирования с их помощью. Использование высокочувствительной плёнки, например типа STRUKTURIX F8 и флуорометаллических экранов типа RCF фирмы AGFA GEVAERT или плёнки HS 800 фирмы KODAK с японскими флуорометаллическими экранами Куокко SMP308 позволят получать качественные снимки за сравнительно короткое время экспозиции. В то же время работа с высококонтрастной плёнкой в комбинации со свинцовой фольгой существенного выигрыша в качестве рентгенограмм не даёт, а время экспозиции увеличивает в десятки раз, тем самым сокращая ресурс аппарата.

Литература

1. *Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник.* В.В.Клюев, Ф.Р.Соснин, В.Н.Филинов и др.; Под ред. В.В.Клюева – Москва, Машиностроение, 1995 г.
2. *Мощные наносекундные импульсы рентгеновского излучения.* Г.А.Месяц, С.А.Иванов, Н.И.Комяк, Е.А.Пеликс. – Москва, Энергоиздат, 1983 г.
3. *Импульсный генератор рентгеновского излучения/Патент на изобретение № 2251230.* Б.П.Меркулов, Е.А.Пеликс., В.Г.Самородов. – Москва, 2005 г.
4. *Импульсные рентгеновские аппараты серии «АРИНА» - назначение, применение, эксплуатация.* Е.А.Пеликс. Материалы 9-й Международной конференции по неразрушающему контролю - Киев, 2007 г.
5. *Техника рентгенографирования импульсными рентгеновскими аппаратами серии «АРИНА»,* Е. А. Пеликс, материалы XIV ежегодной Междун.конференции «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики» - Ялта, 2006 г.

РЕНТГЕНОВСКИЙ ТОМОГРАФ МАРС С ДЕТЕКТОРОМ ИЗ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ: ПУТЬ К СПЕКТРАЛЬНОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ

Кожевников Д. А., Шелков Г. А., Жемчугов А. С., Потрап И. Н. (Объединенный институт ядерных исследований, Дубна) Якушина О. А., Хозяинов М. С. (Университет Дубна, Дубна), Н. de Ruiter (University of Otago, Department of Radiology, Christchurch, New Zealand), Батлер Ф., Батлер Э. (University of Canterbury, Department of Physics and Astronomy, Christchurch, New Zealand), Белл С. (MARS Bioimaging Ltd, 29a Clyde Road Christchurch, NZ)

Рентгеновская томография (РТ) как направление исследования не только в медицине, но и для исследования геообъектов испытывает бурный рост и все шире применяется в практике лабораторных петрофизических исследованиях, в частности, для изучения керна нефтегазовых скважин. Следует отметить, что системное использование рентгеновской томографии для изучения образцов горных пород, в частности, для идентификации породообразующих минералов, было начато еще в СССР, в результате чего были созданы методические основы РТ в области исследования минерального сырья, успешно решен ряд прикладных минералогических задач и отраслевой Научный совет по методам минералогических исследований МПР РФ и Роснедра утвердил ряд методик по РТ анализа в качестве отраслевых нормативных документов [1].

Вполне очевидно, что ключевую роль в успешном развитии рентгеновской томографии для нефтегазовой отрасли играют совершенствование аппаратной базы, т.е. томографов с учетом специфики задач отрасли и разработка специального программного обеспечения. Одной из наиболее важных задач в исследовании керна является повышение пространственного разрешения томографа до уровня микротомографа при анализе образца полноразмерного керна диаметром 10 см. Нашей группой были исследованы возможности рентгеновского микротомографа MARS, разработанного новозеландской компанией MARS Bioimaging Ltd. для исследований в области биологии и медицины [2]. Размер исследуемого образца: диаметр до 10 см, длина до 28 см при рабочем напряжении источника рентгеновского излучения до 120 кВ и токе 350 мкА. Ещё одно важное достоинство томографа MARS заключается в том, что исследуемый образец неподвижен, а вращается система источник – детектор. Это позволит изучать динамически меняющиеся параметры в процессе вытеснения нефти водой и другими флюидами в образце при различных термобарических условиях. Основным направлением повышения эффективности применения его для анализа керна было выбрано совершенствование сенсорной системы MARS.

В настоящее время во всех серийно выпускаемых томографах в качестве приемника рентгеновского излучения используются ПЗС-матрицы на основе кремния. Хотя эти приемники хорошо себя зарекомендовали при проведении исследований, достаточно высокий уровень шума, обусловленный механизмом формирования и считывания сигнала, затрудняет исследования малоконтрастных объектов, а малый атомный номер ($Z=32$) кремния приводит к низкой эффективности регистрации рентгеновский лучей с энергией выше 20 кэВ. Применение гибридных пиксельных детекторов с сенсором из более тяжёлых, чем кремний материалов с возможностью счета отдельных фотонов позволяет решить эти две проблемы. На рисунке 1 показаны результаты расчета эффективности регистрации фотонов в сенсорах из материалов с различным атомным номером в зависимости от энергии излучения.

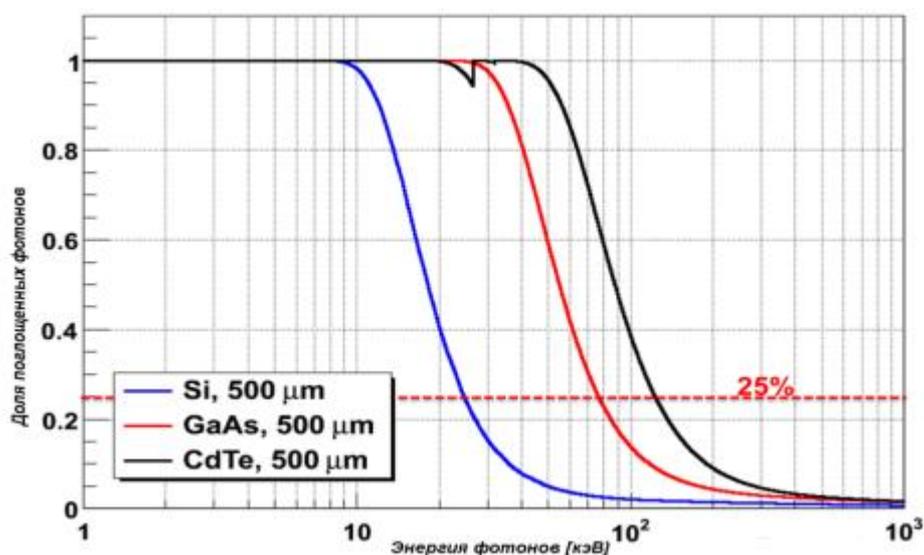


Рис. 1: Эффективность поглощения рентгеновского излучения детекторами толщиной 500 мкм из кремния (синий), арсенида галлия (красный), теллурида кадмия (черный).

Особенностью микротомографа MARS, установленного в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна) является пиксельный детектор на основе арсенида галлия, компенсированного хромом (GaAs:Cr) [3], который позволяет регистрировать рентгеновское излучение с энергией выше 20 кэВ со значительно большей эффективностью, чем кремниевые аналоги. Размер пикселя составляет 55 мкм × 55 мкм. В приемнике рентгеновского изображения в микротомографе MARS установлены два подобных детектора, размером 14.1 мм × 14.1 мм каждый. Для считывания сигнала применяются микросхемы MEDIPIX[4] с возможностью счета отдельных фотонов. Усиление и оцифровка сигнала происходит непосредственно в пикселе, при этом удается добиться уровня шума существенно ниже, чем в ПЗС-матрицах и плоскочелюстных детекторах. По сравнению с другими устройствами, подобные детекторы обладают рядом преимуществ: более низкий уровень шума при комнатной температуре, по сравнению с интегрирующими детекторами, достаточно высокое пространственное разрешение, высокое быстродействие. Важная особенность такой электроники считывания – возможность определения энергии отдельных фотонов при формировании изображения. Информация о спектре регистрируемого излучения может быть использована для устранения эффекта ослабления пучка и для определения элементного состава исследуемого объекта [5]. В настоящее время реконструкция томографического изображения проводится с помощью программного обеспечения Octopus.

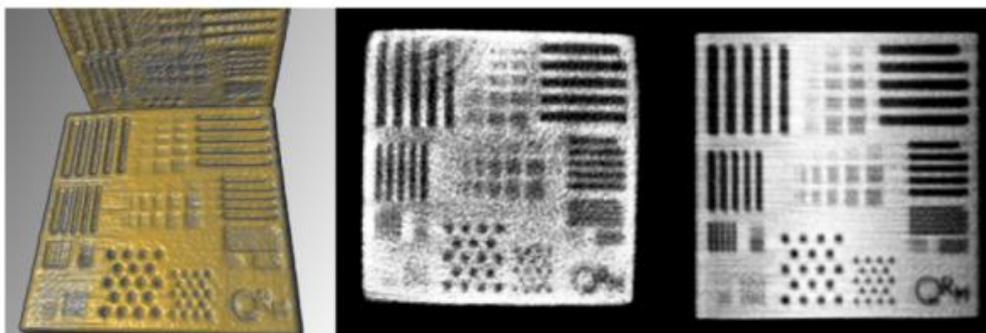


Рис. 2: Калиброванный фантом: слева – реконструированное 3D изображение, посередине и справа – поперечные сечения в двух плоскостях.

В ходе представленной работы были исследованы характеристики микротомографа MARS и проведена оценка его пространственного разрешения с учетом влияния алгоритмов реконструкции. Геометрическое увеличение установки было зафиксировано и равнялось приблизительно 1.7, что соответствует размеру вокселя 32 мкм. Косвенная оценка разрешения томографа была произведена с помощью аппроксимации края алюминиевого фантома сверткой прямоугольника с функцией Гаусса, в результате чего было получено значение дисперсии $\sigma=34$ мкм. Прямая оценка разрешения томографа производилась с помощью калиброванного фантома производства QRM (рис. 2). Видно, что хорошо различимы линии с шагом 50 мкм, что соответствует разрешающей способности 20 лин./мм и согласуется с результатами косвенной оценки. Факторами, ограничивающими разрешающую способность, являются большой (~70 мкм) размер фокусного пятна рентгеновской трубки и недостаточная компенсация отклонения геометрических параметров томографа от идеальных в программе реконструкции. Таким образом, разрешающая способность может быть улучшена при использовании более хорошего источника рентгеновских лучей и усовершенствовании алгоритмов реконструкции.

Литература

1. Khozyainov M. S., Yakushina, O. A. *X-ray Computed Tomography of Natural and Technogenic Geomaterial. / 1st International Conference on Tomography of Materials and Structures: Book of Abstracts (Ghent, 01–05 July 2013). Ghent, 2013. Part 2. P. 239-243 (329 p.).*
2. <http://www.marsbioimaging.com>.
3. L. Tlustos, G. Shelkov, O. Tolbanov, "Characterisation of a GaAs(Cr) Medipix2 hybrid pixel detector" // *Nucl. Instrum. and Meth. A* 633(2011) S103.
4. R. Ballabriga et al., "The Medipix3 prototype, a pixel readout chip working in single photon counting mode with improved spectrometric performance" // *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 54 (2007) 1824
5. R. Aamir et al., "MARS spectral molecular imaging of lamb tissue: data collection and image analysis" // 2014 JINST 9 P02005.

РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА И АНГИОГРАФА

**Зайцев П. А., Таубин М.Л., Игнатъев Д. Н., Ясколко А. А. (ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ»),
Тюрин С. В. (ООО «ЭрЭсКью»)**

Представлена информация о начале работ по Проекту «Разработка и создание производства излучателей для компьютерного томографа и ангиографа», финансируемого Минпромторгом РФ.

В материалах доклада приведены технические требования на разработку, предложенные авторами основные технологические операции по созданию излучателей на базе металлокерамической рентгеновской трубки с вращающимся графитовым анодом и динамическими фокусными пятнами (рис. 1).

Представлены фотографии разработанных и изготовленных макетов излучателей (рис. 2), испытательного стенда и экспериментального оборудования.

Первые результаты тепловых и электрофизических испытаний макетов излучателей подтвердили обоснованность принятых технических решений.

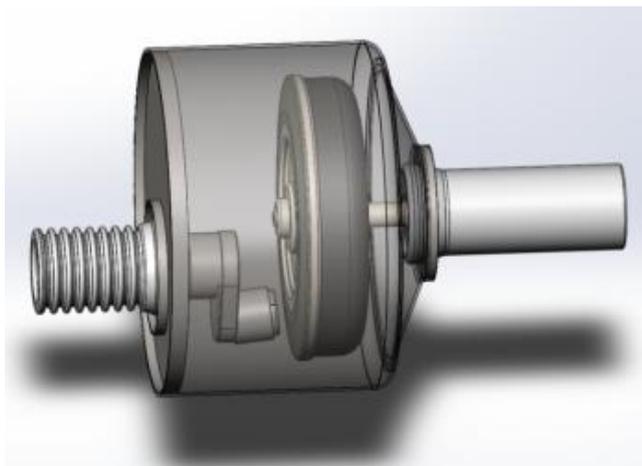


Рис. 1. Металлокерамическая трубка.



Рис. 2. Макет излучателя.

Работа представляет интерес в рамках направления по импортозамещению высокотехнологичных изделий

Литература

1. Рентгеновская трубка. Патент России № 237786, 27.12.2009. Таубин М. Л., Ясколко А. А.
2. Гонтарь А. С., Коноплев Е. Е., Таубин М. Л., Исследование ресурса работы анода рентгеновской трубки. «Медицинская техника» № 5. 2012. С. 16-20.
3. Гонтарь А. С., Таубин М. Л., Коноплев Е. Е., Оптимизация конструкций электродов рентгеновских трубок медицинского назначения, часть 1. Температурные поля и напряженно деформированное состояние плоских катодов рентгеновской трубки, «Медицинская физика». №4 (60). 2013.
4. Гонтарь А. С., Таубин М. Л., Зазноба В. Оптимизация конструкций электродов рентгеновских трубок медицинского назначения. Часть 2. Влияние прорезной части плоского катода на величину анодного тока рентгеновской трубки, Медицинская физика, № 1 (51), 2014.
5. Алексеев С.В., Таубин М.Л., Ясколко А.А. Нанокompозиты в рентгеновской технике. Москва. «Техносфера». 2014. 204 с.

КАТОДЫ РЕНТГЕНОВСКИХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ТРУБОК. ОБЗОР И АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ

Столяров В. Н., Столяров И. Н. (ЗАО «РЕНТГЕНПРОМ»)

Катод рентгеновской диагностической трубки (РТ) участвует в формировании электронного пучка и его электростатической фокусировке на поверхности анода в пределах требуемых размеров. Площадка, на которой высаживается сфокусированный пучок, образует действительное фокусное пятно. От его структуры и размеров зависит пространственное разрешение рентгеновского аппарата и качество рентгеновского снимка.

Целью работы являлось выявление основных проблем обеспечения требуемых параметров действительного фокусного пятна и обзор конструкций катодов РТ с вращающимся анодом. Выработка технических рекомендаций для вновь разрабатываемых катодов РТ и определение направлений перспективных разработок.

Обзор патентов и технической литературы за период с 1970 по 2013 г.г. и анализ опыта конструкторских работ по созданию катодов РТ позволил обозначить проблемы, возникающие при их разработке (табл. 1). Были рассмотрены причины искажения размеров фокусного пятна и неоднородности его структуры. Выделены конструкторские решения, направленные на обеспечение требуемых параметров фокусного пятна (табл. 2). Сформулированы основные способы улучшения электронно-оптических свойств традиционно используемых спиральных вольфрамовых эмиттеров (табл.3) [1].

Таблица 1.

Данные анализа проблем возникающих при разработке катодов рентгеновских диагностических трубок

Проблема	Причина	Результат	Решение
Замыкание эмиттера на стенке установочно го паза катода	– высокотемпературная ползучесть эмиттера; – вибрации трубки; – тепловое расширение.	– перегорание эмиттера; – неконтролируемое изменение тока эмиссии.	– формовка эмиттера в атмосфере сухого водорода при температуре 2600-2800 °С; – обеспечение точности установки токовводов; – повышение жесткости эмиттера; – выполнение катода из несвариваемого материала.
Необратимые деформации эмиттера	– отсутствие компенсации расширения; – перегрев эмиттера.	Искажение размеров и формы электронного пучка.	– разработка компенсирующих механизмов; – ограничение и контроль тока накала эмиттера.
Наличие паразитных термотоков	Перегрев элементов катода	– нарушение стабильности анодного тока; – внефокусное излучение; – загрязнение спектра рентгеновского излучения.	– снижение температуры элементов катода; – улучшение теплоотвода; – повышение лучеиспускающей способности нерабочих элементов катода; – выбор материалов для элементов катода с малой эмиссией; – использование антиэмиссионных покрытий.
Диффузия газов из тела катода	Высокая рабочая температура до 500-800 °С	Увеличение давления остаточных газов в прикатодной области.	– выполнение катода из керамики; – выполнение фокусирующей чашки катода тонкостенной методом штамповки.

Таблица 2.

Причины искажения размеров фокусного пятна
и неоднородности его структуры и способы их устранения

№	Причина	Способы устранения	Конструкторские решения	Задачи требующие решения	
1	Сферическая аберрация, силы кулоновского взаимодействия	Обеспечение параллельных траекторий термоэлектронов.	– применение плоской конструкции эмиттера; – обеспечение более равномерного эмиссионного рельефа.	– компенсация теплового расширения; – разработка технологии производства.	
2		Уменьшение диаметра электронной линзы катода (ширины электронного пучка, создающего фокусное пятно).	– изменение глубины расположения эмиттера в установочном пазу; – изменение геометрических размеров фокусирующей чашки катода.	– обеспечение тока эмиссии и ресурса; – экспериментальные исследования.	
3		Расположение поверхности мишени в плоскости наилучшей фокусировки.	Экспериментальный выбор межэлектродного расстояния.	Разработка стендового оборудования.	
3	Сферическая аберрация, силы кулоновского взаимодействия	Контроль продольного и поперечного размеров пучка электронов.	– ввод в конструкцию катода потенциала смещения; – использование электромагнитной фокусирующей системы.	– разработка новых технологических процессов и методик контроля параметров; – поддержание постоянства смещающего потенциала; – наличие стабилизированного источника питания.	
4		Хроматическая аберрация	Снижение рабочей температуры эмиттера.	Применение материалов с малой работой выхода.	– обеспечение ресурса эмиттера; – обеспечение нормальной работы рентгеновской трубки.
5			Равномерный нагрев рабочей поверхности эмиттера.	– уменьшение оттока тепла на токовводах; – изменение электрического сопротивления вдоль эмиттера (см. таблица 5).	– разработка конструкторских и технологических решений; – разработка технологии производства.

Способы улучшения электронно-оптических свойств спиральных эмиттеров

№	1	2
Способ	Обеспечение равномерного распределения плотности электронов над рабочей поверхностью эмиттера	Обеспечение равномерного нагрева эмиттера
Результат	Равномерное распределение тепловой нагрузки на поверхности анода	
	Уменьшение рабочей температуры эмиттера при той же величине тока эмиссии	
	-	Равномерное распределение электронов по скоростям: – снижение хроматической аберрации; – упрощение фокусировки электронов.
Конструкторские решения	Изменение напряженности электрического поля в области расположения эмиттера: – изменение конструкции чашки; – изменение конструкции эмиттера.	Изменение поперечного сечения проволоки спирального эмиттера с целью изменения плотности тока через данный участок эмиттера, а, следовательно, и его температуры
	Перераспределение эмиттирующих участков эмиттера: – переменный угол навивки ; – переменный шаг навивки спирали.	Увеличение длины эмиттера для обеспечения более протяженного изотермического участка его рабочей поверхности

В результате исследования выработаны следующие рекомендации по разработке перспективных катодов рентгеновских диагностических трубок с вращающимся анодом:

1. Использование плоских эмиттеров для получения более равномерного распределения электронов по площади действительного фокусного пятна;
2. Обработка короткоимпульсным лазерным излучением в жидких средах рабочей поверхности плоского эмиттера для уменьшения работы выхода электронов [2, 3];
3. Исследование влияния расстояния между катодом и анодом на форму действительного фокусного пятна и распределения электронов по его площади;
4. Использование плоских многослойных эмиттеров из тугоплавких материалов, характеризующихся уменьшенной работой выхода;
5. Использование потенциала смещения подаваемого на катод или дополнительный электрод, позволяющий изменять размер действительного фокусного пятна.

Литература

1. И. Н. Столяров Диссертация на тему «Исследование и разработка рентгеновской трубки для цифровых маммографических аппаратов» Санкт-Петербург, 2013. 170 с.
2. E. V. Barmina; A.A. Serkov; E. Stratakis; C. Fotakis; V.N. Stolyarov; I.N. Stolyarov; G.A. Shafeev. Nano-textured W shows improvement of thermionic emission properties. *Applied Physics A Materials Science Processing*, 2012. v.106. N1. p.1-4.
3. E. V. Barmina, E. Stratakis, M. Barberoglou, V.N. Stolyarov, I.N. Stolyarov, C. Fotakis, G.A. Shafeev. Laser-assisted nanostructuring of Tungsten in liquid environment // *Applied Surface Science*, Volume 258. Issue 15. 15 May 2012. Pages 5898–5902.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМИ КАСКАДАМИ РПУ В РЕЖИМЕ ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОГО ВКЛЮЧЕНИЯ

Мамонов И. А. (ООО «Икс-Про»)

За последние годы в арсенале рентгенологии появляются всё новые и новые системы цифровой визуализации рентгеновского излучения. Повышается их световая чувствительность, контрастная чувствительность, уменьшается время регистрации и др..

Очевидно, что информативность получаемого изображения зависит как от системы регистрации, так и от генерирующего источника рентгеновского излучения (ИРИ). Данные реалии предъявляют всё более жёсткие требования к ИРИ. К примеру, значительная нелинейность в спектральной чувствительности фосфорсодержащих пластин, а так же матричных панелей на основе монокристаллического или аморфного кремния - требует максимально высокой стабилизации анодного напряжения. Тенденция к уменьшению экспозиции, снижающей динамическую нерезкость снимка, а так же уровень накопления темновых шумов детектора – резко повышает требования к фронтам импульса, форма которого должна приближаться к «идеальному» прямоугольнику. Более же короткое время импульса при сохранении экспозиционной мощности дозы требует эквивалентного повышения анодного тока. Другими словами, необходимо повышать мощность РПУ.

Современный интеллектуальный генератор рентгеновского излучения (ГРИ) с выходной мощностью 50-100 КВт и более – сложный комплексный прибор, рассматривать его основные блоки необходимо комплексно, так как различные решения высоковольтного силового каскада требуют различного подхода к выбору силовых ключей, а те, в свою очередь, к управляющим драйверам и т.д.. Тем не менее, для детального анализа устройства ГРИ целесообразно его деление на функциональные блоки: 1) рентгеновская трубка (нагрузка); 2) высоковольтный трансформаторно-выпрямительный блок; 3) блок инверторов; 4) блок управления инверторами и внешней синхронизации.

В отдельных статьях мы подробно рассматривали особенности работы рентгеновских трубок как диодного так и триодного типа, расчёт и конструирование высоковольтных трансформаторов с максимально высоким КПД, а так же оптимизацию инверторных драйверов управляющих MOSFET на частотах 120-150КГц. В этой же статье мы хотим поделиться нашими результатами по использованию различных контроллеров в качестве управления драйверами силовых модулей.

Разрабатывая новый блок управления инверторами, мы поставили задачу максимально ускорить время выхода системы на заданный уровень выходного напряжения и тока.

Глубина регулировки выходных параметров современного РПУ не менее 80%, а диапазон выходного сопротивления не менее 10^4 Ом. Учитывая, так же, необходимость быстрого изменения выходных параметров - эта группа источников питания наиболее критична в выборе методов регулировки. Анализ РПУ от различных производителей мира показывает, что наиболее частый метод регулировки – комбинированный. Так например в мощных генераторах пр-ва GE используется амплитудная + ШИМ регулировка, в генераторах TOSHIBA серии RX применён метод частотная + ШИМ регулировка, VOLTA в своих мощных генераторах применяет метод предварительной коммутации витков первичной обмотки высоковольтного трансформатора, с последующей ШИМ-коррекцией в процессе экспозиции.

Все вышеперечисленные методы значительно усложняют и удорожают ГРИ. Комбинирование нескольких методов регулировки обусловлены необходимостью компенсации несовершенства высоковольтного трансформатора. Детальному анализу и расчёту высоковольтных блоков была посвящена отдельная статья, где подробно приводились расчёты и измерения. Хотим, лишь, напомнить о физических ограничениях при конструировании среднечастотных высоковольтных тр-ров. Необходимость удаления вторичной обмотки от магнитопровода (изоляция), а так же в ней большое количество витков - ухудшает магнитную связь, соответственно повышает индуктивность рассеяния.

Такие трансформаторы имеют большую инертность изменения $dU_{\text{ВП}} / dU_{\text{ВЛ}}$, а это ограничивает скорость выхода системы на заданные условия. Таким образом, комбинированные методы регулировки – это частичная компенсация несовершенства высоковольтного трансформаторно-выпрямительного блока.

При повторно-кратковременном режиме работы используется время выведения трубки на заданный режим (накал, раскрутка анода) для изменения внутренних параметров системы как то: напряжения питания на силовых ключах, степень смещения частоты генерации относительно резонансной, изменение числа витков WI и т.д.

У нашего коллектива есть опыт разработки систем с различными типами регулировки и управления инверторами. При разработке РПУ с приведёнными внизу параметрами:

Диапазон регулировки выходного напряжения	30-150 кВ;
Диапазон выходного тока	1-1200 мА;
Пульсация выходного напряжения (при $I=1000\text{мкА}$)	не хуже $\pm 2\%$;
Номинальная мощность	120 кВт;
Минимальная экспозиция	0,005с;
Максимальная экспозиция (при $P=120\text{кВт}$)	10с;
Время выхода на уровень стабилизации (при $U_{\text{ВЫХ}}=125\text{кВ}$; $U_{\text{ВЫХ}}=1000\text{мА}$)	не хуже 600мкс.

Остановились на методе регулирования выходного напряжения – только изменяя скважность (ШИМ). Этому предшествовала работа по предварительному макетированию различных систем. Результаты изложены в отдельной статье, посвящённой расчёту мощных ВИП инверторного типа. Отметим, лишь, что добиться наиболее короткого фронта удалось на рентгеновской трубке с электронным затвором, сконструированной на базе 25-50БД52-150 (пр-во Россия, АОЗТ «Светлана-Рентген»). Время выхода на стабилизацию $U_{\text{ВЫХ}}=125\text{кВ}$; $U_{\text{ВЫХ}}=1000\text{мА}$ составило 70 мкс, задний фронт импульса – 15 мкс. Несмотря на ряд преимуществ работы с трубкой триодного типа, в нашем случае такое решение не подошло. Во-первых: необходима суммарная выходная ёмкость не менее 200 нФ, во-вторых: усложнённая система управления катодного узла, с полной гальванической развязкой, в-третьих: превышение габаритных размеров генератора, указанных в ТТЗ. Необходимо так же отметить, что при обозначенных условиях даже самого короткого импульса перейти на полностью накопительную систему оставаясь в разумных габаритах - не представляется возможным (выходная ёмкость не менее $2,5\text{мкФ}\times 150\text{кВ}$). К тому же, напряжение на предварительно заряженном конденсаторе проседает или сразу после выхода на режим, или сразу после выхода на плато, соответственно при «подхватывании» стабилизации генератором отмечается картина «затухающего контура», аналогичная концу переднего фронта на генераторе «прямой» передачи энергии.

Мощный высоковольтный генератор, в котором используется только ШИМ-регуляция, предъявляет чрезвычайно жёсткие требования к силовому высоковольтному трансформатору (или трансформаторам). Именно с его макетирования нужно начинать разработку РПУ. Основная инженерная задача будет заключаться в том, чтобы с одной стороны, энергии прокачиваемой в цепи первичной обмотки было достаточно для передачи мощности во вторичную обмотку во всём диапазоне скважности, с другой - не превысить верхний порог тока силовых ключей или не насытить магнитопровод. При этом необходимо учитывать: 1) рабочий диапазон распространяется и на малые скважности, 2) чем короче передний фронт, тем больший запас по мощности нужно закладывать в расчёте силового инвертора. По нашему опыту - при формировании импульса $U_{\text{вых}}=125$ кВ; $I_{\text{вых}}=1000$ мА и длительностью переднего фронта 500мкс, первые 10-15 тактов ток, измеренный на транзисторах превышает рабочий, в среднем, в 2,5 раза.

В случае успешного решения конструкции трансформатора, положительные аспекты ШИМ-регулируемого налицо. Это возможность быстрого изменения выходных параметров, относительная, техническая простота и экономичность реализации такой схемы.

Различные конструкции драйверов, управляющих силовыми ключами, рассмотрены в отдельной статье. Отмечу лишь, что наиболее эффективная система силового инвертора нами получена на мостовой схеме с параллельно включенными ключами (MOSFET), при чём управление по обратной связи выходным напряжением, а так же ограничением выходного тока осуществляется независимо, по противоположным плечам моста (см. статью).

Кратко отметив все основные нюансы конструирования мощных РПУ, возвращаемся к верхнему уровню управления РПУ. Итак, сконструировав силовую часть способную прокачать нужную энергию и имеющую выходную характеристику dU/dt , удовлетворяющую условиям задачи, необходимо интеллектуальное управление, для полной реализации аппаратных возможностей. Основная сложность управления—это инерционный «перемех» выходного напряжения, неизбежно возникающий после достижения заданного значения. Время на стабилизацию выходных параметров должно занимать не более 10% относительно всего импульса, соответственно при импульсе 5мс время выхода на режим не должно превышать 500мкс. Учитывая диапазон возможного изменения выходной нагрузки – задача не простая. Дело усложняется и изменением эмиссионной способности катодного узла рентгеновской трубки, возникающим в процессе старения катода. По этой причине предустановленные таблицы предварительного нагрева требуют постоянной коррекции, что не всегда возможно и достоверно.

В процессе макетирования РПУ был опробован целый ряд контроллеров. Подавляющее большинство из них не отвечали условиям нашей задачи или в силу низкой скорости обратной связи, или недостаточной вычислительной мощности. В этой статье мы отметим лишь некоторые из них.

Контроллер STM32F103. Ядро ARM. Достаточно развитая периферия. Внутренней памяти достаточно для реализации не слишком сложного синергического режима и библиотеки органоавтоматики.

Нужно отметить высокую помехоустойчивость, что в наших условиях очень важный фактор. т.к. несмотря на все предпринимаемые меры: экранировку, снабберы, гасящие цепочки силового каскада, помехи и наводки - одна из основных проблем мощных импульсных преобразователей. Скорости обработки хватает для трёх предустановочных,

статичных таблиц: уровень разогрева спирали, пропорциональная и дифференциальная компоненты программного ПИД-регулятора. При этом, реальная скорость петли обратной связи 12-15 кГц (в зависимости от выбранного алгоритма). Оптимальный диапазон эффективной обработки сигнала – не выше 80-85 кГц генерируемой частоты главного инвертора. Лучший результат выхода системы на режим (при 125 кВ / 1000мА F=80 кГц) $1,1 \times 10^{-3} \text{с} \pm 5\%$.

Контроллер TMS320F28 TexasInstruments. DSP. Мощные вычислительные возможности, хорошо развитая периферия, имеются несколько выходов ШИМ.

Внутренних ресурсов достаточно для реализации любого синэргического режима и введения широкой базы данных.

Помехоустойчивость – средняя. Возможностей процессора с избытком хватает для введения пяти статичных таблиц и трёх динамичных. На этом контроллере был реализован алгоритм обработки крутизны нарастания переднего фронта (dU/dt) с коррекцией компонентов ПИД-регулятора. Как указывалось выше, подготовительный разогрев катода не всегда обеспечивает точное соответствие электронной эмиссии. При этом, статично установленные коэффициенты ПИД-регулятора не полностью соответствуют реальной выходной нагрузке, при этом возникает или «перемах» анодного напряжения или затягивание нарастания. То и другое приводит к увеличению времени стабилизации. Измерения показали, что введение алгоритма динамической коррекции даёт выигрыш во времени стабилизации ~ 25%. При этом, реальная скорость петли обратной связи не хуже 30 кГц. Оптимальный диапазон эффективной обработки сигнала – не выше 100-103 кГц генерируемой частоты главного инвертора. Лучший результат выхода системы на режим (при 125 кВ / 1000 мА F=100 кГц) $0,72 \times 10^{-3} \text{с} \pm 5\%$.

Контроллер USD3138 TexasInstruments. Ядро ARM. Одна из последних разработок в данной линейки. На этот контроллер мы хотим обратить особое внимание, именно на нём получены лучшие результаты. Периферии и памяти хватает для обеспечения всех основных сервисных функций РПУ. Несмотря на, относительно, медленное ядро, данный контроллер имеет аппаратный ШИМ с внедрённым ПИД-регулятором, обеспечивая тем самым преимущества цифрового и аналогового метода управления. Слабой стороной контроллера является отсутствие собственного кварцевого генератора, в связи с чем написание программы для калибровки анодного напряжения и тока требует вдумчивого подхода программиста нижнего уровня. Помехоустойчивость ядра – средняя.

В процессе макетирования нам пришлось несколько раз корректировать дизайн процессорной платы. В окончательном варианте мы получили устойчивую работу даже в условия повышенной зашумлённости. Обратило на себя внимание, что даже при «зависании» ядра по внешней связи, работа ШИМ безотказно доводила экспозицию до конца, обеспечивая при этом хорошую стабилизацию. Как показала практика, при использовании данного контроллера отпала необходимость введения динамических таблиц, а скорость отработки в несколько раз превысила DSP-контроллеры работающие с алгоритмом динамической коррекции. Доступная скорость петли обратной связи 350 кГц. Реальная скорость, в нашем случае, ограничена фильтрацией измерительной цепочки обратной связи, тем не менее, составила 55-60 кГц. Оптимальный диапазон эффективной обработки сигнала – более 120 кГц генерируемой частоты главного инвертора. Лучший результат выхода системы на режим (при 125 кВ / 1000 мА F=120 кГц) $0,44 \times 10^{-3} \text{с} \pm 5\%$.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ РАДИОГРАФИИ

Красильников С. Б., Пантелеев В. А., Петров Р. Б. («Синтез НПФ»)

В 2012 году разработано и серийно выпускается с 2013 года семейство портативных рентгеновских аппаратов постоянного потенциала 0,3 СБК. Моноблоки аппаратов «0,3 СБК 150», «0,3 СБК 160» и «0,3 СБК 160 С» представляют собою источники рентгеновского излучения со встроенной рентгеновской трубкой типа 0.3 БПМ 25-150 с уникальным размером фокусного пятна 0,8 x 0,8 мм, работающей в режиме с постоянным напряжением на аноде и постоянным током анода во время экспозиции. Благодаря уникально малым размерам фокусного пятна аппараты данного семейства могут с успехом заменять более мощные, поскольку требуемые параметры экспозиции обеспечиваются при более близком расположении моноблока к объекту контроля, при этом существенно снижается потребляемая мощность и доза излучения.

Аппарат предназначен для проведения радиографического контроля качества сварных соединений трубопроводов, монтажных и строительных конструкций, отливок и поковок цветных и черных металлов, как в полевых, так и в цеховых условиях эксплуатации, на предприятиях судпрома и авиапрома. Модификация с индексом 2С» – «северное исполнение», при работе с температурой от - 40°С.

Аппарат может работать как от сети переменного тока, так и от автономных источников питания – переносного бензинового генератора и аккумуляторного блока питания (ИАП - источник автономного питания). Возможность использования ИАП позволяет безопасно эксплуатировать аппарат в помещениях с повышенной влажностью, поскольку отпадает необходимость в обеспечении подключения к сети переменного тока 220 В. Данная опция позволяет эффективно использовать аппарат при дефектоскопических работах в судостроении, предоставляет большую мобильность пользователю при ремонте сварных швов на трубопроводах.

Также для удобства контроля сварных швов разработано и предлагается ремённое устройство крепления на трубе. Устройство предназначено для «просвечивания» труб 159 ÷ 1020 мм через две стенки аппаратом «0,3 СБК 160 С» X -образно с четырех направлений по ГОСТу – 4×90° и для труб от 108 мм – с двух направлений. Время установки и снятия устройства с трубы – менее одной минуты. Время перестановки моноблока из одной позиции «просвечивания» на следующую - 20 сек. Устройство быстро перенастраивается с одного диаметра трубы на другой. Вес устройства – 0,8 кг

Аппарат выпускается в модификациях «0,3 СБК 150» (напряжение на аноде рентгеновской трубки до 150 кВ) и «0,3 СБК 160» (напряжение на аноде рентгеновской трубки до 160 кВ за счет использования высоковольтного блока новой разработки и специально отобранных и оттренированных рентгеновских трубок) и «0,3 СБК 160 С» (аппарат в этом исполнении имеет расширенный диапазон рабочих температур окружающей среды, комплектуется компактным герметичным блоком питания и управления (БПУ), и предназначен для работы в условиях Крайнего Севера. В таблице 1 приведены технические характеристики аппаратов семейства, на рисунках 1-6 приведен внешний вид основных элементов комплекта.

Технические параметры аппаратов семейства 0,3 СБК

Параметр	Значение
Мощность на аноде рентгеновской трубки	300 Вт
Анодное напряжение	150 - 160 кВ
Анодный ток (для всех моделей)	3 мА
Время экспозиции	1 ÷ 998 с
Размер фокусного пятна	0,8 x 0,8 мм
Мощность дозы при максимальной мощности и напряжении (1 м) «0,3 СБК 150»	2,1 Зв / ч
«0,3 СБК 160» и «0,3 СБК 160 С»	2,4 Зв / ч
Диапазон рабочих температур окружающей среды	20 ÷ +40° С
Время непрерывной работы на максимальной мощности	ок. 15 мин
Габариты моноблока без штатива и съёмной ручки	∅120× 508 мм
Габариты блок питания и управления в защитном кейсе	580 × 430 × 240 мм
Масса моноблока без штатива и съёмной ручки, не более	5,4 кг
Масса блока питания и управления, не более	10,5 кг



Рис. 1. Внешний вид моноблока аппарата семейства 0,3 СБК на стандартном штативе.



Рис. 2. Внешний вид моноблока аппарата семейства СБК на телескопическом штативе.



Рис. 3. Пример крепления моноблока аппарата семейства 0,3 СБК на металлической переборке.



Рис. 4. Пример крепления моноблока аппарата.



Рис. 5. Моноблок аппарата семейства СБК.



Рис. 6. Внешний вид БПУ для модификации «0,3 СБК 150».

Кабины радиационной защиты (КРЗ) предназначены для осуществления рентгенодиагностических работ, тренировки рентгеновских аппаратов и др. операций с источниками ионизирующего излучения.

При работе с источниками ионизирующего излучения, находящимися внутри КРЗ, радиационный фон при соблюдении указанных в условиях эксплуатации параметров за пределами КРЗ не превышает нормы, и таким образом гарантируется защита персонала от вредного воздействия ионизирующих излучений.

Кабины выпускаются в различных типоразмерах, при монтаже не требуют изменений в конструкции здания, так как все комплектующие могут быть доставлены через стандартные дверные и оконные проемы. Кабины являются разборными, что позволяет в случае необходимости перемещать и собирать их на другой площадке заказчика и т. д.

ООО «Синтез НПФ» разработаны и выпускаются панорамные рентгеновские аппараты СХТ 200-48-N для трубосварочных баз и малых кроулеров “JME” ltd Co - model 6”, 8” и 10”; “IPSI” Co - model 10”, а также “С-ТЕС” GMBH Co - model “С-200”.

Таблица 2

Характеристики панорамного рентгеновского аппарата СХТ 200-48-N

Напряжение питания:	48 В постоянного тока
Мощность на аноде рентгеновской трубки – 2 ступени:	для новых АКБ – 400 Вт для старых АКБ– 280 Вт
Напряжение на аноде –11 ступеней:	120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 185, 190, 195, 200 кВ
Диаграмма излучения:	панорамная , углы при вершине – 40° x 360°
Габариты моноблока без дефлектора: с дефлектором:	□ – 140 мм, длина – 885 мм □– 120 мм, длина – 885 мм
Размеры ПДУ:	152 x 87 x 30 мм
Вес моноблока:	15,1 кг
Вес ПДУ:	0,3 кг
Вес блока радиоканала:	0,2 кг
Диапазон рабочих температур:	-40° ÷ +50°С

Вместо стандартного ПДУ аппарат может комплектоваться блоками радиоконтроля. Комплект блоков радиоконтроля состоит из 2 блоков прямоугольной формы, один из которых соединяется кабелем ПДУ с моноблоком, второй с помощью USB кабеля подключается к ноутбуку, и автоматически записывает в ноутбук программу управления аппаратом от ПДУ. Первый блок имеет 2 светодиодных индикатора и снабжен сильным постоянным магнитом для крепления на трубе или тележке. Вес каждого блока не более 0,2 кг. Дальность действия до 100 м.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКИХ СИСТЕМ. СОБСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ИЛИ АУТСОРСИНГ?

Аксенов С. Г. *Spellman High Voltage Electronics Corporation*

Классическая рентгеновская установка требует наличия высоковольтного источника питания рентгеновской трубки (ИП РТ). ИП РТ проектируется исходя из своего назначения, то есть для поддержания требуемых процессов в рентгеновской трубке и управления ими. Также ИП РТ должен обрабатывать критические ситуации, например пробой, при этом сохраняя свою функциональность, работоспособность трубки, а также обеспечить безопасную эксплуатацию для человека. Таким образом, разработкой и производством должны заниматься подготовленные опытные специалисты.

Большинство производителей рентгеновской техники в России являются преемниками научных организаций и коллективов времен СССР. Отраслевые НИИ и другие организации того времени имели возможность быть автономными в разработке и производстве необходимых им компонентов. Источники питания, в том числе и для рентгена, часто не рассматривались, как что-то требующее привлечения сторонних организаций, за исключением технологически сложных или специальных задач. Многие организации имели свои отделы разработки систем питания. Это давало ряд преимуществ: более эффективная коммуникация в рамках одной организации, более узкая специализация источника питания под задачу и нагрузку и так далее. Однако главным критерием эффективности НИОКР и производства того времени была не ресурсоемкость и конкуренция, а скорее способность выполнить поставленную задачу. После развала СССР и изменения экономической модели стало более востребованным такое пришлое понятие, как аутсорсинг.

За прошедшие десятилетия ситуация сильно изменилась но часть предприятий до сих пор содержит штат собственных разработчиков для многих компонентов производимых систем. В некоторых случаях, это действительно оправданно и подтверждение тому - пример ряда зарубежных компаний, которые имеют собственные подразделения для разработки и производства ИП. Обычно такое могут себе позволить только крупные компании, имеющее большое серийное производство и/или использующие подобные подразделения для специальных разработок, обеспечивающих технологическое преимущество, производя уникальные системы.

Между тем, благодаря открытости рынка компонентов, вслед за зарубежными рынками в Россию стали приходить компании производящие не только мелкие электронные компоненты, но также производители более сложных узлов: рентгеновских трубок, детекторов, систем высоковольтного питания и прочего. Рентгеновская трубка, в силу технологической сложности производства, практически всегда была покупаемым компонентом. При появлении серийно производимых рентгеновских трубок, стали появляться производители типовых систем питания для них, а конкуренция и массовость обеспечивали стоимость готового блока часто ниже стоимости самостоятельно произведённого производителями систем. К сожалению, это не так очевидно и явно для рынка России.

Выбор в пользу закупки от стороннего поставщика, прежде всего, зависит от финансовой привлекательности предложения. Несмотря на низкие цены завода изготовителя, логистические издержки могут существенно повысить финальную стоимость закупаемого компонента. Часто, решение о продолжении производства своими силами, принимается без учета косвенных издержек, дополнительных преимуществ и перспектив. Также, такое решение иногда основывается на отсутствии возможности четкого анализа косвенных издержек, консервативности, опасении проблем коммуникации с поставщиком, отсутствии полного привычного контроля над всеми этапами производства, взаимоотношении с сотрудниками и другими причинами.

Компания Spellman развивает свои возможности в области разработки и производства высоковольтных систем более 65 лет. За это время компанией были созданы рентгеновские генераторы для многих популярных рентгеновских трубок различных производителей. Некоторые примеры наиболее популярных систем питания и прежде всего подходящих для работы с трубками российского производства.

Серия MNX стала стандартом для питания трубок с заземленным катодом до 75кВ; 50Вт таких производителей как Oxford, RTW, Petrick, Varian и других. Продолжением серии MNX линейка стала более компактная серия uX.

Серия DXM может быть использована для питания трубок 20-100кВ; 300-1200Вт как с заземленным катодом, так и анодом. Это позволяет использовать данную серию совместно с трубками производства ЗАО «Светлана-Рентген». Данная серия используется для питания трубок БСВ ЗАО «Светлана-Рентген».

Серия DF/FF также применима для трубок ЗАО «Светлана-Рентген» для напряжений до 75кВ и мощности до 4кВт, а также для соответствующих трубок зарубежных производителей.

Другой серией систем питания, недавно расширившей и заполнившей “белое пятно” в диапазоне параметров необходимых для питания трубок требующих до 75кВ при мощности до 50Вт, стала компактная серия MFX. Данная серия может и уже используется с серией трубок БХ от ЗАО «Светлана-Рентген». Рязанский производитель маломощных компактных рентгеновских трубок НПП ФОН использует для питания своих изделий источник серии ХМР с параметрами до 10кВ; мощность до 5Вт.

Отдельной категорией в линейке рентгеновского оборудования Spellman можно выделить системы Monoblock. Эта система представляет собой готовый рентгеновский излучатель, объединяющий в едином блоке рентгеновскую трубку, источник питания, блок управления и экранирующий корпус. Обсуждение закупки импортных компонентов последнее время сталкивается с темой патриотизма и поддержки российского производителя. При отсутствии лишних эмоций можно прийти к следующим выводам:

- Многие используемые компоненты уже и так импортные, и обойтись без них нельзя.
- Лучше производить готовое оборудование на импортных компонентах, чем не производить вовсе.
- Конечный интеллектуальный продукт имеет большую ценность и позволяет продавать не только железо, но и know-how.
- Увеличение серийного производства российского оборудования способствует развитию отечественных производителей узлов и компонентов.
- И не менее важное. Развитие производства конечного оборудования, пусть и на импортных комплектующих, повышает устойчивость к санкциям, снижая зависимость от готовых импортных систем.

Описанная проблематика уже не является таковой для многих компаний, но некоторые предприятия все еще находятся в плену устаревших представлений или же остановились на пути изменений. Каждое, тем более высокотехнологичное производство уникально. Сложившиеся технологические и производственные процессы, а тем более коллектив, не просто поддаются изменениям, но только модернизация и повышение эффективности могут дать результат, способный вывести российского производителя на новый уровень технологий и экономической независимости.

РАЗРАБОТКА НАНОФОКУСНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ ГИБРИДНОГО НАНОСКОПА

Гелевер В. Д., Манушкин А. А., Усачев Е. Ю. (МГТУ МИРЭА)

С помощью рентгеновского излучения можно изучать внутреннюю структуру объектов и получать трехмерные изображения. Такое излучение практически не взаимодействует с объектами и во многих случаях не требует специального препарирования. Исследования могут проводиться на воздухе, в том числе в жидкой фазе, и в вакууме. На синхротронных источниках излучения, применяя фокусирующие элементы, изучают тонкие биологические объекты с предельным разрешением 20 нм при энергиях 5-14 кэВ [1]. В инспекционной машине японской фирмы ТОНКЕН TUX-5000F [2] на разборных рентгеновских трубках без применения элементов рентгеновской оптики с автокатодом обеспечивается разрешение 50 нм. В этом микроскопе для оперативной и точной фокусировки электронных пучков на мишени при малых размерах и мощностях электронного пучка применяется детектор обратнорасеянных от мишени электронов. Нанофокусный рентгеновский томограф XRadia XCT-100 [3] позволяет получать разрешение 50 нм на разборной рентгеновской трубке при использовании сложных и дорогостоящих элементов рентгеновской оптики. Сегодняшняя нанофокусная рентгеновская микроскопия из-за невысоких разрешений, высокой стоимости, больших габаритных размеров и высоких эксплуатационных расходов мало применяется.

Для проведения исследований внутренней структуры различных объектов наноиндустрии на наноуровне в рентгене был разработан нанофокусный рентгеновский источник эконом класса с небольшими габаритными размерами. В принципе нет особых проблем с получением электронных зондов и фокусных пятен с размерами в десятки нанометров. Такие электронные пучки обеспечиваются во многих РЭМ при токах менее 10-9 А. Но коэффициент выхода рентгеновских квантов под воздействием электронного пучка на несколько порядков ниже, чем у вторичных электронах. Поэтому возникают проблемы с регистрацией малоинтенсивных рентгеновских потоков, оперативной и точной фокусировкой электронного пучка на мишени и поддержанием длительное время фокусировки пучка при больших временах регистрации рентгена.

Для фокусировки пучка на мишени при нанофокусных фокусных пятнах было предложено использовать детектор вторичных электронов в пространстве между двумя последними линзами [4], который является более эффективным, чем детектор обратнорасеянных электронов в инспекционной машине японской фирмы ТОНКЕН TUX-5000F. Детектор вторичных электронов позволяет в растровом режиме видеть поверхность

мишени во вторичных электронах, оперативно и точно фокусировать наноразмерный пучок на мишени. Возможность сканирования электронного пучка обеспечивает реализацию растрового (реверсного) режима рентгеновского микроскопа. Причем для повышения разрешения и реализации режима цифровой ламинографии целесообразно иметь много рентгеновских детекторов с изменяющейся входной апертурой, которые позволяют получать изображения под разными углами к оси (рис. 1).

Повышение разрешения в ПРМ достигается путем уменьшения расстояния объект-фокус d_{o-f} . В большинстве современных рентгеновских микроскопах d_{o-f} составляет от ста микрон до нескольких миллиметров, что обеспечивает возможность вращать объект для получения 3D (режим томографии). Многие объекты, исследуемые и производимые в наноиндустрии типа тонких пленок, наночастиц и т.п. могут просто ложиться на подложку (мембрану) со стороны воздуха. В этом случае толщина мембраны будет определять d_{o-f} . При уменьшении d_{o-f} возрастает увеличение и плотность потока рентгеновского излучения на объекте пропорционально $1/d_{2o-f}$. Последнее позволяет скомпенсировать уменьшение мощности рентгеновского излучения при переходе на нанофокусный диапазон и получить разрешение на уровне 20-30нм.

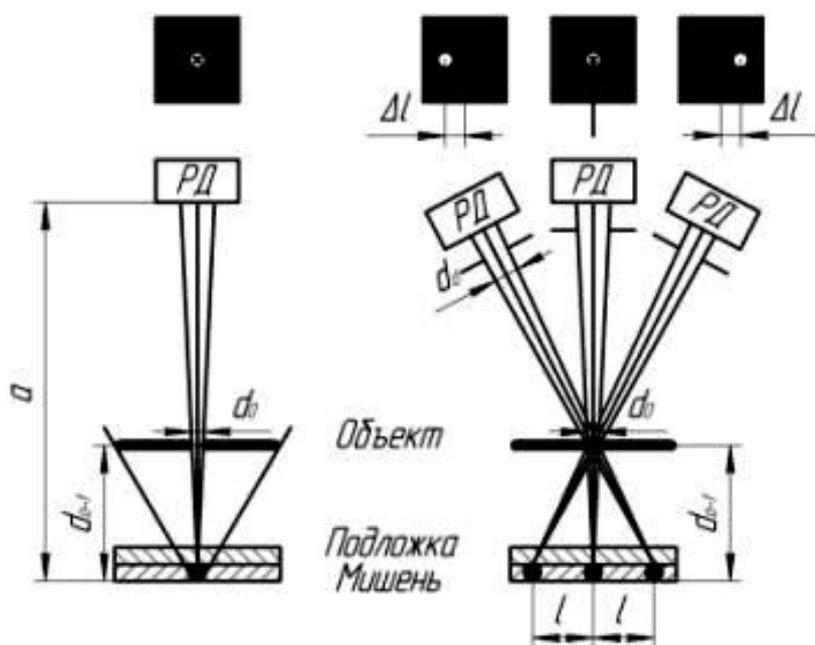


Рис. 1. Проекционный и растровый (с тремя детекторами) режимы просвечивающего рентгеновского микроскопа.

РД – рентгеновский детектор; d_{o-f} – расстояние объект – фокус; a – расстояние мишень – детектор; d_0 – диаметр отверстия в объекте; d_d – диаметр детектора.



Рис.2. Электронно-зондовый модуль.

Современные технологии позволяют получать вакуумноплотные, микронные и субмикронные мембраны из Be, Si, Si₃N₄, C и др. Так, серийно выпускаются ЗАО РМТ (RMT ltd) бериллиевые окна толщиной 8мкм. Можно использовать кремниевые окна толщиной в несколько микрон, или субмикронные окна из пленки нитрида кремния. В принципе возможно применение мембран из сверхтонкого графена. В этом варианте удобной является конструкция рентгеновской трубки, когда электронная пушка находится внизу, а сверху размещена мембрана с мишенью и объекты могут просто накладываться на мембрану.

Основными элементами нанофокусного рентгеновского источника являются электронно-зондовый модуль (ЭЗМ), комплект высоковольтных источников питания и растровое питающее устройство. Блоки питания и управления от ПК (15 плат) размещены в двух крейтах. В состав ЭЗМ входит колонна с электронной пушкой, элементами вакуумной системы и детекторами вторичных и обратнорассеянных электронов (рис. 1). Перед объективной линзой (ОЛ) установлены детекторы сбора вторичных и обратнорассеянных электронов через канал ОЛ. Безмаслянная откачка обеспечивается магнито-разрядным насосом, который размещен вблизи с электронной пушкой и анодом. Максимально простая конструкция снижает размеры и себестоимость изготовления прибора.

Колонна представляет собой систему магнитных линз с отклоняющими системами внутри них, которая обеспечивает минимальный размер электронного пучка ≈ 1 нм. Она фактически является основным элементом конструкции. Магнитные линзы зафиксированы с помощью шпилек двумя стальными пластинами, находящимися на концах колонны с открытым доступом к ОЛ и электронной пушке (рис. 2).

В этом случае, когда верхняя полуплоскость над ОЛ свободна, на ОЛ можно с минимальными затратами и оптимально размещать с помощью вспомогательных деталей детекторы, микроскопы, а также другие устройства. На пластинах имеются пазы, в которые могут устанавливаться два стальных П-образных экрана перекрывающие друг друга и обеспечивающие экранировку от электромагнитных сетевых наводок линзы между пластинами и детекторную систему перед ОЛ. При необходимости можно обеспечить дополнительную экранировку, закрыв кожухом и ОЛ.

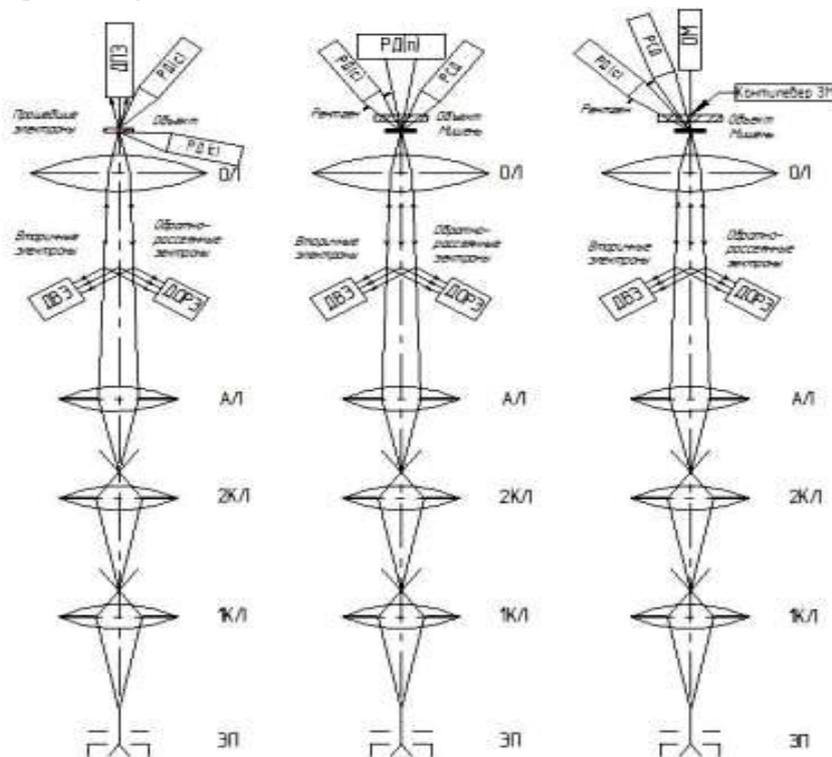


Рис. 3. Принципиальная схема работы ГН в различных режимах.

ЭП – электронная пушка; 1КЛ, 2КЛ – детектор вторичных электронов; ДОРЭ – детектор обратнорассеянных электронов; ДПЭ – детектор прошедших электронов; РД(с) – рентген.

детектор (растровый); РД(n) – рентген. детектор (проеекционный); РСД – рентгено-спектральный детектор; ОМ – опт. микроскоп; кантилевер ЗМ – кантилевер зондового микроскопа.

В принципе, в проекционном режиме, когда электронный пучок стоит в какой-то точке мишени, нужно обеспечивать длительное время стабильность положения пучка на уровне 10-20% от размера фокусного пятна. Фактически в этом режиме к стабильности положения пучка предъявляются выше требования, чем в РЭМ, когда изображение формируется в растровом режиме и синхронизацией разверток от 50 Гц сглаживается влияние сетевых наводок. К любой из пластин могут быть прикреплены ножки для установки на столе, обеспечивая или размещение электронной пушки внизу, а сверху - ОЛ с объектом, или традиционный для электронной микроскопии вариант, когда электронная пушка сверху. В принципе, источник может работать и в горизонтальном положении, когда конструкция ложится на боковые грани пластин.

Нанофокусный рентгеновский источник может работать как РЭМ, если вместо мишени под электронный пучок установить объект на координатном столике, а за объектом поместить детектор прошедших электронов. Для расширения функциональных возможностей в источник можно добавить оптические и сканирующие зондовые микроскопы, а также рентгеноспектральные детекторы (рис. 3). При этом рентгеновский источник превращается в многофункциональный гибридный наноскоп (ГН), который позволяет проводить комплексные исследования наноструктурных объектов. В ГН можно будет исследовать одно и то же место различными методами. Интересна комбинация рентгеновского микроскопа и зондового микроскопа (ЗМ), которая позволяет при исследовании объектов на тонкой пленке, с обратной стороны которой нанесена мишень, видеть в рентгене объект и контролировать перемещения острия ЗМ. В некоторых случаях ЗМ может использоваться как наноманипулятор.

Работа по разработке нанофокусного рентгеновского источника и ГН в инициативном порядке ведется в течение нескольких лет, и основное внимание было уделено отработке конструкции ЭЗМ, который обеспечивает оптимальное формирование наноразмерного электронного пучка в диапазоне 1-40 кВ. В ходе работы была изготовлена небольшая опытная серия приборов (рис 4 а, б).



а



б

Рис. 4. Изготовленная серия приборов.

На первых из них были получены хорошие результаты в электронах (менее 10нм при 15кВ) и в рентгене (0,2-0,3мкм при 15кВ). Более высокие разрешения можно будет получить при переходе на высококачественные рентгеновские детекторы, более тонкие подложки и объекты с наночастицами с размерами на уровне десятков нанометров, а также при подборе ускоряющего напряжения. Изображение частиц цинка разного размера в органической пленке толщиной 270

мкм в прошедшем рентгене на рентгеновской пленке при использовании бериллиевой подложки толщиной примерно 10 мкм и во вторичных электронах приведены на рисунке 5, 6. При сравнении снимков видно очевидное в данном случае преимущество по информативности изображения в рентгене. В принципе, информацию о внутреннем строении этого объекта можно получить при использовании комбинации РЭМ и ионного микроскопа (FIB), когда последний будет проводить послойное травление поверхности. Но это разрушающий, длительный и дорогостоящий метод, который большинству пользователей просто недоступен. При этом, скорее всего по качеству, он скорее всего будет уступать рентгеновскому микроскопу, который при получении нескольких снимков с калиброванным смещением электронного пучка и соответственно фокусного пятно, даст возможность получения 3D изображений.

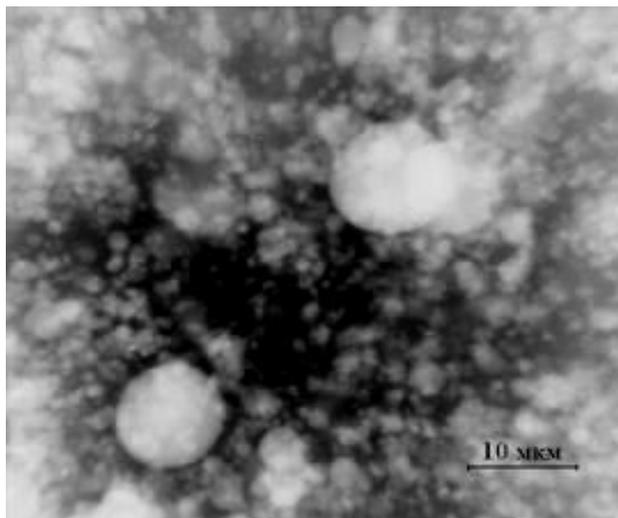


Рис. 5. Рентгеновский снимок.

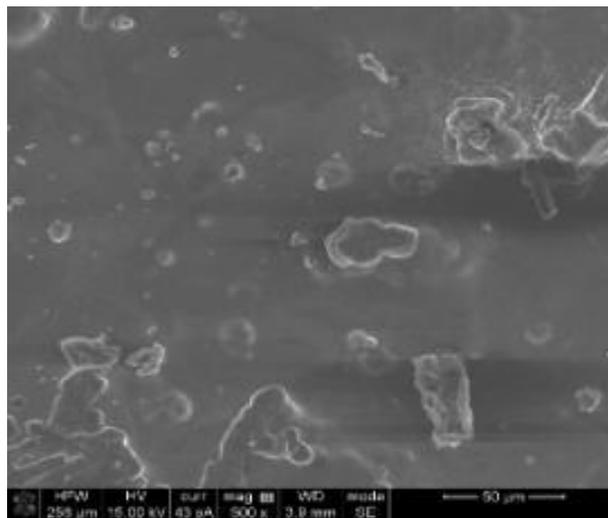


Рис. 6. Снимок во вторичных электронах.

Разработанный нанодиагностический прибор благодаря своим техническим и экономическим характеристикам может стать базовым прибором для отечественной nanoиндустрии. Он по конструкции, может легко модифицироваться в варианты адаптированные под работу с различными наноструктурированными материалами. По основным техническим параметрам он находится на уровне лучших зарубежных приборов и фактически совмещает возможности и функции большинства импортных микроскопов разного типа. С помощью этого прибора можно будет успешно решать не только исследовательские и производственные задачи в nanoиндустрии, но и проводить подготовку кадров, владеющими различными методами нанодиагностики, в том числе - эффективно использовать для обучения групп студентов и специалистов.

Литература

1. П. Пианетта V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем.
2. K. Minami, Y.Saito, H. Kai, K. Shiota and K. Yada 2009Proc.9thInt.Conf.X-Ray Microscope. Journal of Physics: Conf.Series 186 (2009) pp1-3.
3. S. H. Lau, SEMIs Semiconductor Manufacturing Magazine, Feb . 2007.
4. Гелевер В. Д. Патент РФ № 2452052 от 27.12.12.Рентгеновский микроскоп наноразрешения .

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ НЕЧЕТКОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ В СТОМАТОЛОГИИ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Кораблев Ю. А. (СПбГЭТУ), Потрахов Н. Н. (СПбГЭТУ), Шестопалов М. Ю. (СПбГЭТУ)

В последнее время неуклонно возрастает значение информационного обеспечения различных медицинских технологий, в том числе в стоматологии. Использование современных информационных технологий становится критическим фактором развития большинства отраслей знания и областей практической деятельности, поэтому разработка и внедрение информационных систем является одной из самых актуальных задач [1].

В медицинских учреждениях большинство персональных компьютеров применяется лишь для обработки текстовой документации, хранения и обработки баз данных, ведения статистики и выполнения финансовых расчетов. Отдельная, специализированная часть машин используется совместно с различными диагностическими и лечебными приборами. Во многих лечебно-диагностических технологиях возможности современных компьютеров практически не используются. Прежде всего это диагностика, назначение лечебных мероприятий, прогнозирование течения заболеваний и их исходов. Современные технические возможности позволяют выйти на качественно новый уровень представления течения заболевания, смоделировать типовое развитие патологического процесса при конкретном заболевании. Уже сейчас, на современном этапе развития медицины, информационные нагрузки достигают пределов человеческих возможностей, что определяет необходимость шире использовать различные методы компьютерной поддержки принятия решений. Медицинские экспертные системы позволяют врачу не только проверить собственные диагностические предположения, но и обратиться к компьютеру за консультацией в трудных диагностических случаях [2].

Область исследований, посвященная формализации способов представления знаний и построению экспертных систем (ЭС), называют «инженерией знаний». Экспертные системы применяются для решения неформализованных проблем, к которым относятся задачи, обладающие следующими характерными особенностями:

- задачи не могут быть представлены в числовой форме;
- исходные данные и знания о предметной области неоднозначны, неточны, противоречивы;
- цели нельзя выразить с помощью четко определенной целевой функции;
- не существует однозначного алгоритмического решения задачи.

Все вышперечисленное является типичным для медицинских задач, так как в большинстве случаев они представлены большим объемом многомерных, запутанных, а порой и противоречивых клинических данных. ЭС позволяют решать задачи диагностики, дифференциальной диагностики, прогнозирования, выбора стратегии и тактики лечения [3].

Одним из основных направлений в развитии технологий медицинских экспертных систем в настоящее время является создание и совершенствование мобильных средств диагностики.

В данном докладе предлагается архитектура нечеткой экспертной системы для использования в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. Нечеткая экспертная система разрабатывается и размещается на Web-сервере а клиентской частью является рентгенодиагностический комплекс «ПАРДУС-Стома». На рисунке 1 представлена предлагаемая архитектура нечеткой системы диагностики.

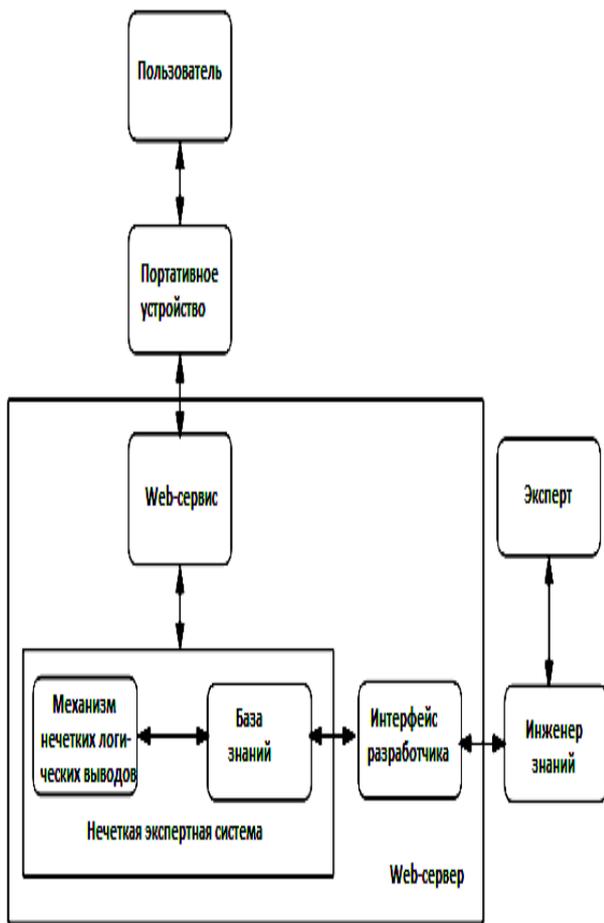


Рис. 1. Архитектура нечеткой системы для мобильного пользователя.

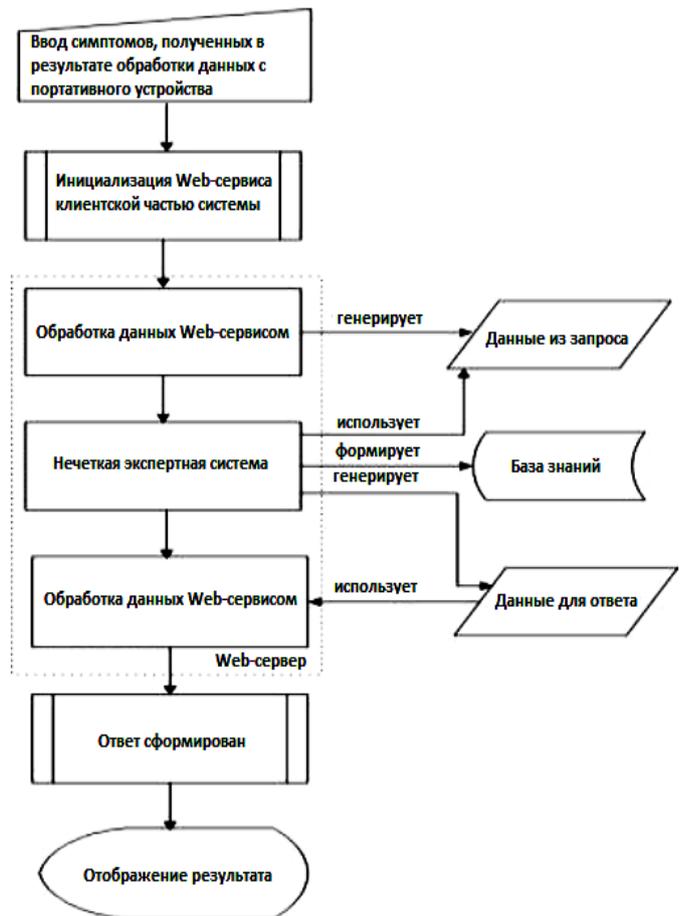


Рис. 2. Блок-схема цикла запроса к нечеткой экспертной системе.

Система состоит из двух главных компонент – Web-сервера и мобильной клиентской части. Экспертная система должна предлагать некие лечебные процедуры в зависимости от симптомов пациента, сформированных клиентской частью на основе обработки информации, полученной портативным устройством. База знаний системы разрабатывается инженером знаний на основе формализации информации, полученной в результате совместной работы с экспертом в данной предметной области. Алгоритм работы системы показан на рисунке 2.

Предлагаемая архитектура может использоваться не только в описываемой предметной области, но и в других областях, где для решения задач диагностики применяется портативная техника, что позволяет создание на основе клиентской части мобильного автоматизированного рабочего места врача функциональной диагностики, позволяющее проводить исследования по нескольким методикам с формированием электронной истории болезни.

Литература.

1. Жарко В.И., Цыбин А.К., Малахова И.В. и др. // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. — 2006. — № 4. — С. 3—7.
2. Потрахов Н.Н., Шестопалов М.Ю. Диагностика концевых деталей малого диаметра // Контроль. Диагностика. Вып. 9/2012. — С. 28- 32.
3. Дюк В.А., Эмануэль В.Л. Информационные технологии в медико-биологических исследованиях. — СПб.: Питер, 2003.

НОВЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ ЗАО «СВЕТЛАНА-РЕНТГЕН» ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Баклин А. С., Валуев Н. Н., Куликов Н. А. (ЗАО «Светлана-Рентген»)

Потрахов Н. Н. (СПбГЭТУ)

За 65 лет существования ЗАО «Светлана-Рентген» номенклатура выпускаемых рентгеновских трубок непрерывно расширялась в зависимости от потребностей нашей страны. В настоящее время она охватывает все области применения рентгеновской аппаратуры: медицину, промышленность и научные исследования. Количество выпускаемых типов рентгеновских трубок составляет более 100 наименований. На предприятие разрабатываются и серийно выпускаются практически все известные в мире типы рентгеновских трубок, в том числе, самые современные – металлокерамические. В настоящее время в номенклатуру выпускаемой ЗАО «Светлана-Рентген» продукции включены рентгеновские трубки для медицины (диагностики и терапии) с вращающимся и стационарными анодами серий БД, БДМ и БТВ, для промышленного просвечивания и различного рода технологических задач БПВ, БПМ, БС и БСВ, БХ и БХВ, РХВ, а также импульсные рентгеновские трубки серии ИМА и бетатронные камеры серии БУК.

Только за последние несколько лет разработаны, успешно освоены в серийном производстве и поставляются отечественным и зарубежным потребителям трубки перспективных конструкций, в том числе не имеющих зарубежных аналогов.

Рентгеновские трубки для медицинской диагностики.

Разработана первая отечественная микрофокусная рентгеновская трубка с вращающимся анодом ЗБД46-150. Для регулировки размеров фокусного пятна в трубке предусмотрена подача отрицательного по отношению к катоду напряжения на управляющий электрод. Номинальный режим работы трубки при фокусном пятне около 100 мкм составляет 150 кВ и 20 мА. Освоен промышленный выпуск маммографической рентгеновской трубки с вращающимся анодом на 40кВ 1-5БД56-40. Трубка успешно поставляется в Индию. Успешно проводятся работы по модернизации всей линейки трубок с вращающимся анодом. В результате – шарикоподшипники в узле вращения анода будут заменены на специализированные опоры современной конструкции, что позволит увеличить ресурс трубок, снизить шумы и вибрации.

Рентгеновские трубки для терапии.

Для реализации оригинальной методики рентгеновской терапии при различных онкологических заболеваниях разработана рентгеновская трубка 0,15 БТМ 2-50 с полым вынесенным анодом и электрически изолированной мишенью прострельного типа. В составе генераторного устройства, изготавливаемого ООО «СИНТЕЗ НПФ» (Санкт-Петербург), трубка поставляется в Англию.

Рентгеновские трубки для промышленного просвечивания.

Семейство трубок для промышленного просвечивания пополнилось несколькими высоковольтными приборами 1,3БПК16/19-260 и 1,5БПК11/14-300 с направленным и панорамным выходом излучения. Трубки предназначены для использования в аппаратах компании VALTEAU NDT в газовой изоляции. Одним из отечественных потребителей этих трубок является ООО «СИНТЕЗ НПФ».

Рентгеновские трубки для досмотровой техники.

Разработана и выпускается серия рентгеновских трубок для досмотра грузов и таможенного контроля. Заказчик и основной потребитель - фирма «Heimann Systems» – ведущей в мире производитель досмотровой рентгеновской техники. Из разработанных более, чем 10 разных конструкций рентгеновских трубок, на данный момент выпускается 5.

Следует отметить трубку с внутренней защитой от неиспользуемого излучения, а также «двухлучевую» трубку, не имеющую зарубежных аналогов. Эта трубка обеспечивает при напряжении до 160 кВ и токе 5 мА формирование двух пространственно-ориентированных веерных пучков рентгеновского излучения, что позволяет принципиально повысить обнаруживаемость взрывчатых веществ и наркотиков. Типичным представителем является трубка 0,32БПМ62-160, используемая разработанная совместно с фирмой ООО "Икс-про" для получения двух- и трехмерных изображений контролируемого объекта. Для решения задачи персонального досмотра пассажиров и багажа на транспорте разработана рентгеновская трубка 0,144БПВ33–120 с вынесенным полым анодом и боковым выходом рентгеновского излучения с электростатической и магнитной фокусировками пучка электронов. Разработаны рентгеновские трубки со щелевым выходом излучения и высокой стабильностью параметров квантового выхода БХ9W, 0,2БПМ61-100 и др. Указанные трубки использованы ООО «Флэш электроникс» (Москва) при создании ряда технических средств рентгеновского контроля, в том числе, рентгеновских сканеров скрытых полостей «Ватсон» и «Феникс», а также рентген-телевизионных комплексов «Шмель – 240ТВ» и «Колибри – 150ТВ».

Рентгеновские трубки для спектрального анализа.

Для портативных РФА анализаторов разработаны специализированные рентгеновские трубки БХ14 и БХ15. Малые габариты и вес этих трубок позволили создать ЗАО «Южполиметалл-Холдинг» (Москва) химическую лабораторию, «помещающуюся в руке».

Для рентгенолюминесцентных сепараторов разработаны рентгеновские трубки нового поколения БХВ21Re, БХВ22Re с увеличенным почти на порядок сроком службы (более 15 000 часов). Трубки выпускаются серийно и поставляются НПП «Буревестник», а в Анголу. С целью расширения перечня регистрируемых химических элементов модернизирована рентгеновская трубка большой мощности для спектрального анализа в кожухе с полной защитой от неиспользуемого излучения - 4РХВ8.

Рентгеновские трубки для структурного анализа.

Налажен промышленный выпуск импортозамещающих рентгеновских трубок для структурного анализа серии БСВ, порядковые номера 40, 41, 42,43,45 и др. Также разработана серия малогабаритных рентгеновских трубок для структурного анализа БСВ33 и БСВ36 с успехом использующихся в отечественной аппаратуре.

Бетатронные камеры.

Продолжается выпуск и расширяется перечень новых рентгеновских бетатронных камер, использующихся в бетатронах отечественного (НПФ ООО «Фотон», г. Томск) и зарубежного (SMITHS HEIMANN GMBH, Германия) производства. Энергии ускоренных электронов лежат в диапазоне от 3 до 10 МэВ в зависимости от типа камеры. Отметим, что бетатроны НПФ ООО «Фотон» поставляются в Германия, Англия, Индия, Китай, США. Восстановлено производство камер РБК12-10Э с выпуском пучка электронов через стекло.

Даже на основании этого, весьма краткого, описания последних разработок предприятия можно сделать заключение - ЗАО «Светлана-Рентген» современное высокотехнологичное производство, способное решать сложные и актуальные задачи для удовлетворения потребностей самых различных областей человеческой деятельности.

ПОРТАТИВНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ РЕГИСТРАЦИИ ОБРАТНО РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Буклей А. А., Паршин И. А. (ООО «Флэш электроникс»)

Подымский А. А. (ЗАО «Светлана-Рентген»)

Среди технических средств, используемых органами правопорядка в ходе оперативных мероприятий по обеспечению безопасности и противодействию преступной деятельности, важное место занимают портативные переносные рентгеновские комплексы. Они применяются при обезвреживании взрывных устройств, поиске оружия, наркотических и психотропных веществ в багаже, личных вещах и транспортных средствах, поиске устройств съема информации в помещениях.

В докладе рассмотрены характеристики, особенности и преимущества портативных рентгеновских комплексов, созданных с использованием новой технологии – регистрации обратно рассеянного излучения.

Традиционные портативные просвечивающие комплексы, основанные на регистрации теневого рентгеновского изображения, требуют обязательного двустороннего доступа к объекту контроля, что в ряде случаев ограничивает возможность их использования, например, для досмотра предмета, стоящего вплотную к стене, или для обследования стен зданий. Обойти это ограничение позволяют устройства, основанные на регистрации обратно рассеянного излучения. Они позволяют проводить рентгеновский контроль с односторонним доступом к объекту контроля. Их важным преимуществом также является малая дозовая нагрузка на объект контроля и низкий уровень неиспользуемого излучения.

Компанией ООО «Флэш электроникс» разработан и освоен серийный выпуск ручного сканера «Ватсон» - устройства индикаторного типа, предназначенного для оперативного досмотра транспортных средств и обследования помещений (рис. 1 и 2).



Рис. 1. Рентгеновский сканер «Ватсон».



Рис. 2. Результаты применения.

При перемещении оператором вдоль поверхности обследуемого объекта, сканер позволяет быстро обнаруживать места сокрытия опасных предметов по изменению уровня обратно рассеянного рентгеновского излучения, а также определить примерные размеры и материал предметов. Проникающая способность сканера составляет до 50 мм дерева, ДСП, пластика, 24 мм гипсокартона, 15 мм кирпича. Сканер позволяет обнаруживать инородные

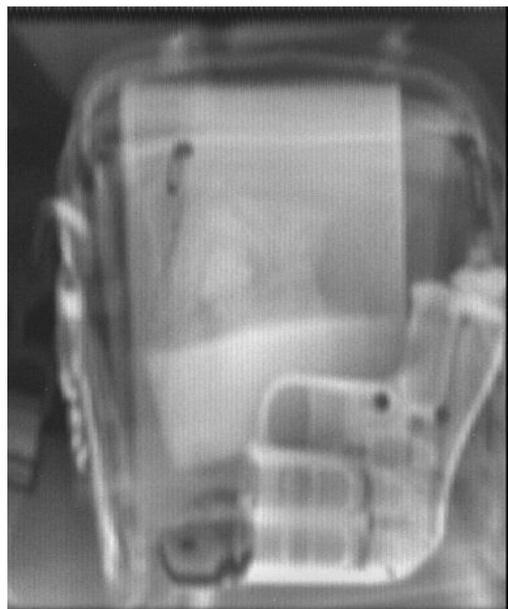
предметы, находящиеся в полости на глубине до 300 мм за преградой указанной толщины. За счет сочетания малой массы (2,2 кг), высокой производительности контроля и полной радиационной безопасности (при работе, сканер можно держать в руках), обеспечивается высокое удобство использования. Другим преимуществом сканера «Ватсон» является большая для портативных рентгеновских устройств производительность контроля – порядка 1 м² в минуту. К недостаткам сканера «Ватсон» можно отнести то, что он не позволяет получать изображение сканируемого объекта. Это ограничивает информативность контроля.

Для получения рентгеновских изображений с односторонним доступом к объекту контроля ООО «Флэш электроникс» разработан портативный переносной рентгеновский комплекс «Феникс». Для построения изображения в нем используется полностью автоматическая развертка рабочего пучка по двум осям, обеспечивающая, в зависимости от расстояния до объекта контроля, сканирование площади от 220x200 мм до 300x345 мм с разрешением от 0,5 мм до 0,8 мм соответственно. Время получения изображения составляет, в зависимости от выбранного режима, 5 или 20 секунд. Комплекс обеспечивает получение изображения предметов, находящихся за стенкой толщиной (в зависимости от материала стенки): дерево, пластик, ДСП – 45 мм; гипсокартон – 36 мм; кирпич – 15 мм; сталь – 1,5 мм.

Комплекс «Феникс» может быть использован для оперативного досмотра сумок, кейсов, посылок, транспортных средств с целью обнаружения оружия, взрывчатых, наркотических и психотропных веществ (рис. 3).



а) досмотр предмета вплотную к стене.



б) травматический пистолет в сумке.

Рис. 3. Рентгеновский комплекс «Феникс» на основе регистрации обратно рассеянного излучения.

Комплекс также может использоваться при обследовании помещений с целью обнаружения взрывных устройств, устройств съема информации. Безопасное расстояние, на котором должен находиться оператор при работе комплекса, составляет 0,5 м.

Комплекс состоит из сканирующего устройства, размещенного в транспортно-эксплуатационной сумке на колесах общей массой 16 кг, и портативного компьютера, служащего для управления сканирующим устройством и отображения полученных изображений.

Передача управляющих команд и изображений может осуществляться как по кабелю, так и с помощью беспроводного соединения с расстояния до 100 м. Сканирующее устройство имеет встроенный автономный источник электропитания.

РАЗРАБОТКИ ИНПЦСНК В ОБЛАСТИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Усачёв Е.Ю. Усачёв В.Е. Гнедин. М.М. (МГТУ-МИРЭА, Москва)

Радиационный контроль (РК) был и остаётся одним из наиболее востребованных методов неразрушающего контроля и диагностики, позволяющим устанавливать соответствие качества продукции требованиям нормативной документации и выявляющим различного типа внутренние несплошности и включения в таких объектах как сварные и паяные соединения, отливки, неметаллы (включая композиционные материалы). спекаемые порошковые изделия, строительные конструкции, а также используемым для определения внутренней геометрии замкнутых сборочных узлов.

Достоинствами РК являются универсальность (контроль различных марок металлов и неметаллов), минимальные требования к состоянию поверхности объекта контроля и его структуре, наглядность представляемой информации, в т.ч. и на цифровых носителях.

В настоящее время, для российских предприятий, применяющих РК, характерны относительно малочисленные службы контроля, выполняющие ограниченный по объёму и непостоянный по номенклатуре, но потенциально широкий перечень задач. Финансирование технического развития указанных служб не является первоочередной, и поэтому задача правильного выбора типа и марки рентгеновского аппарата, системы или установки весьма актуальна. В свете сказанного рассмотрим технические и экономические характеристики радиационной техники для неразрушающего рентгеновского контроля, представленной Инженерно-научным производственным центром средств неразрушающего контроля (ИНПЦСНК). Отличительными особенностями техники являются: основные комплектующие, включая рентгеновские трубки – отечественные; рентгеновский аппарат – моноблочного исполнения; возможно встраивание его в радиационный комплекс с «внешним» управлением, т.е. включением излучения по сигналу внешнего устройства; разнообразие используемых детекторов рентгеновского излучения.

По своему назначению и возможным областям применения источники излучения для неразрушающего радиационного контроля, представленные ИНПЦСНК, подразделяется на пять видов: аппаратура общепромышленного назначения; специализированная рентгенодефектоскопическая аппаратура; бетатроны; переносные комплексы цифровой радиографии; стационарное самозащищённое оборудование для рентгеновского неразрушающего контроля

Переносные аппараты общепромышленного назначения

Линейка рентгеновских переносных аппаратов общепромышленного назначения серии РАП охватывает диапазон анодных напряжений от 10 до 300 кВ и состоит из 5 основных модификаций (РАП 90-У, РАП 100-10, РАП 160-5, РАП 220-5, РАП 300-5) и 2-х дополнительных (РАП 190П-5, РАП 200-5) и показана на рис. 1

Используемая полупериодная среднечастотная схема обеспечивает хорошие габаритно-весовые показатели и увеличение прогнозируемого ресурса трубок, входящих в состав аппарата, до 4000 часов. Пульты р/аппаратов до 220кВ включительно обеспечивают информацию о техническом состоянии аппарата, необходимости тренировки и проведения её в автоматическом режиме.



Рис.1 Линейка рентгеновских аппаратов РАП.



Рис.2 Внешний вид рентгеновских аппаратов РИ-100 и РИ-150.

Конструкция аппаратов построена, в основном, на отечественных комплектующих, включая рентгеновские трубки, что определяет их более низкую стоимость (относительно зарубежных) при сроке гарантии на излучатель аппарата – 30 месяцев.

Специализированные рентгеновские аппараты

Разработка специализированных рентгеновских аппаратов для неразрушающего контроля, обычно инициируется задачами, возникающими на предприятиях, как при освоении новой продукции, так и по результатам её эксплуатации у потребителя. С целью обеспечения рентабельности подобных разработок, в них закладываются решения, позволяющие, несмотря на специализацию, в максимальной степени использовать созданные образцы аппаратуры для различных объектов и направлений контроля, в том числе и встраиваясь в комплексы НК.

Специализированная рентгенодефектоскопическая аппаратура представлена переносными рентгеновскими аппаратами серии РИ, включающими в себя острофокусный аппарат РИ-160, микрофокусные аппараты РИ-100, РИ-150, и микрофокусными аппаратами серии Шило для контроля сварных соединений трубных досок - Шило-100 и Шило-120..

Эти рентгеновские аппараты имеют следующие отличительные характеристики: малые размеры фокусного пятна, что позволяет использовать технику многократного увеличения снимка без потери чувствительности или проводить контроль на сверхмалых фокусных расстояниях; регулируемое анодное напряжение постоянного потенциала; малые габариты и масса, возможность автономного питания 24В, возможность встраивания в систему цифровой обработки и памяти

Бетатроны

Переносные и передвижные бетатроны серии МИБ являются наиболее компактными и транспортабельными источниками высокоэнергетического излучения и предназначены для неразрушающего контроля качества материалов и изделий больших толщин (например, литья и сварных соединений), как в условиях лаборатории, так и на монтажных площадках, стапелях, при ремонте котельных и энергетических установок, контроле железобетонных опор мостов и других строительных конструкций. Представленная серия бетатронов МИБ не имеет мировых аналогов.

Бетатроны просты в обслуживании благодаря введению микропроцессорного управления, обеспечивают стабильное качество снимков благодаря встроенной и выносной системам дозиметрии пучка, имеют повышенную надежность за счет разработки быстродействующих эффективных электронных схем защиты силовых цепей и

характеризуются более низкой стоимостью по сравнению с другими типами ускорителей. Узлы бетатронов унифицированы. С помощью бетатронов серии МИБ возможен контроль конструкций из железобетона и кирпича толщиной до 1.5 м, а также стальных изделий толщиной до 300 мм.



Рис.3. Внешний вид блока ускорителя бетатрона МИБ-4.



Рис.4 Общий вид комплекса НОРКА ПД-1.

В состав бетатрона входит излучатель, блок питания и управления, пульт управления выносной блок дозиметра; блок световой сигнализации.

Комплекс цифровой радиографии.

Цифровая матричная детекторная система (DDA) является электронным устройством, преобразующим проникающее излучение в дискретную матрицу аналоговых сигналов, которые затем оцифровываются и передаются непосредственно на дисплей компьютера в виде цифрового изображения, соответствующего модели радиационной энергии, прошедшей через область ввода устройства. Чувствительность запоминаящей пластины к ионизирующему излучению выше, чем у эмульсии мелкозернистой радиографической плёнки, что на практике обеспечивает уменьшение времени экспозиции в 5-10 раз.

Комплекс цифровой радиографии НОРКА ПД-1. Переносной комплекс НОРКА ПД-1 относится к системам цифровой радиографии, использующим цифровые матричные детекторы (DDA). При включении рентгеновского излучателя на заданное время экспозиции, поток излучения, прошедший через объект контроля падает на матричный детектор и вызывает свечение сцинтиллятора, напрямую сцепленного с фотодиодным пикселем.

Свечение считывается детектором. Малые размеры пикселя позволяют блоку формирования изображений достигать высокого разрешения теневого изображения, которое в цифровом виде записывается в блоке управления. В блоке управления, производится цифровая обработка и фильтрация изображения. Затем изображение объекта контроля выводится на экран блока управления. Комплекс предназначен для контроля сварных соединений тонкостенных стальных трубопроводов, с радиографической чувствительностью по 1-му классу ГОСТ 7512-82. Комплекс может использоваться при обследовании действующих трубопроводов, а также для сдаточного контроля изготовленных трубопроводов при согласовании с Заказчиком хранения первичной информации в электронном виде. Комплекс построен по модульному принципу, что даёт возможность использовать в нём в зависимости от поставленной цели различные составные части (излучатели, детекторы, блоки формирования и обработки изображения). Рентгеновский аппарат РИ-160, входящий в состав комплекса, может использоваться отдельно для просвечивания на мелкозернистую радиографическую плёнку.

Стационарное самозащищённое оборудование для рентгеновского неразрушающего контроля

Самозащищённое оборудование для рентгеновского неразрушающего контроля – это оборудование, позволяющее проводить радиационный контроль на производственном участке при отсутствии специально построенной для этой цели рентгеновской лаборатории.

Основным модулем самозащищённого оборудования является рентгенозащищённая камера, которая обеспечивает биологическую защиту и в которой размещаются источник(и) ионизирующего излучения, детекторная система и необходимая оснастка. Рассматривая вопрос использования самозащищённого оборудования (рентгенозащищённой камеры) на предприятии, необходимо, в первую очередь, определиться с номенклатурой изделий, подлежащих контролю, проработать технологию контроля, в т. ч. схемы и режимы контроля, и сформулировать на основании этого требования к размерам рабочего отсека камеры (объёма, в котором проводятся манипуляции с объектом) и диапазону используемого анодного напряжения. При этом следует учитывать, что использование самозащищённого оборудования на предприятии не отменяет необходимость выполнения документальных процедур, предписанных соответствующими документами Минздрава РФ для работы с источниками ионизирующего излучения.

По указанному направлению разработана и изготовлена установка контроля изделий микроэлектроники ОРЁЛ (рис. 5), предназначенная для контроля изделий микроэлектроники, проведение технологического контроля печатных плат и установленных на них электронных компонентов методами высокоразрещающего рентгенотелевидения и цифрового томосинтеза.



Рис. 5. Внешний вид установки ОРЁЛ.



Рис.6 Внешний вид установки ЛЕДА.

Конструктивно камера состоит из трёх отсеков: отсек для размещения рентгеновского аппарата; отсек для размещения объекта контроля и оснастки для его крепления; отсек для размещения рентгенотелевизионного преобразователя. Биологическая защита камеры рассчитана на применение рентгеновских аппаратов РАП 90-5, РАП 160-5; РАП220-5 (в зависимости от применяемого типа аппарата меняется толщина защитного свинца и, соответственно, масса камеры). Самозащищённый рентгенотелевизионный комплекс ЛЕДА (рис. 6) предназначен для проведения технологического контроля алюминиевых литых изделий.

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии Издательства СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Подписано в печать 18.11.14. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Печ. л. 4,25.
Гарнитура «Times New Roman». Тираж 60 экз. Заказ 157.

Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197376, С.-Петербург, ул. Проф. Попова, 5
Тел.: (812) 346-28-56. E-mail: Letiizdat@mail.ru

*До встречи на следующей
конференции*



**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
СПБГЭТУ «ЛЭТИ»**