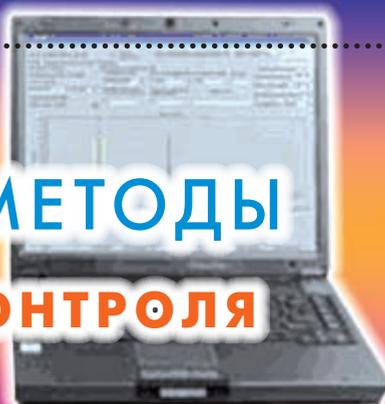


# РЕНТГЕНОВСКИЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ



**Уровень развития промышленности передовых стран на современном этапе характеризуется не только объемом производства и ассортиментом выпускаемой продукции, но и показателями ее качества. Контроль качества является, особенно в электронике, самой массовой технологической операцией в производстве. В связи с усложнением и постоянным повышением требований к надежности новой техники трудоемкость контрольных операций резко возрастает. Это оправдано и тем, что срок окупаемости затрат на оборудование неразрушающего контроля качества изделий электронной техники во многих случаях в 5-10 раз меньше срока окупаемости технологического оборудования.**

Качество продукции – это совокупность ее свойств, обуславливающих возможность данной продукции удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Высококачественный объект электронной отрасли отличается постоянством химического состава, микро- и макроструктуры, электрических и магнитных характеристик материала, неизменными геометрическими размерами, повышенными механическими, антикоррозионными и другими свойствами.

Залог высокой надежности и качества продукции – рациональное использование комплекса неразрушающих методов контроля, которые способны предотвратить аварии сложных агрегатов и дать производству существенные экономические преимущества. Стопроцентный неразрушающий контроль позволяет определить качество материалов или полуфабрикатов.

Систематическое проведение неразрушающих испытаний на различных стадиях технологического процесса и статисти-

И. Кокорева,  
Г. Щелкунов

ческая обработка результатов этих испытаний помогают определить те стадии процесса, на которых возникают дефекты, а следовательно, установить и устранить причины брака.

На современном этапе производства меняется сама сущность операций контроля. Из пассивного, только фиксирующего качество готовых деталей, контроль становится активным методом корректировки технологического процесса. Особенно возрастает его активная роль в условиях автоматизации производства.

Операции неразрушающего контроля представляют собой неотъемлемое и равноправное звено технологического процесса. Они способны определить качество и прочность изделия; нацелить на лучшее конструктивное и технологическое решение; снизить стоимость производства; предотвратить несчастные случаи и повысить безопасность; поддержать марку фирмы.

Неразрушающий контроль основан на использовании проникающих полей, излучений и веществ для получения информации о качестве материалов и объектов.

В отличие от разрушающего неразрушающий контроль обеспечивает проверку качества, надежности и безопасности объектов без их разрушения. Контролируться могут сварные швы, материалы или уже готовые изделия из них при изготовлении или эксплуатации. В процессе производства проверяется материал как на наличие в нем пор, трещин и т.п., так и на различие в толщине изделия на разных его участках. При эксплуатации методами неразрушающего контроля проверяется материал на усталость, степень коррозии, на воздействие агрессивных химических сред.

Существует много видов неразрушающего контроля: акустический, магнитный, электрический, вихретоковый, радиоволновой, тепловой, оптический, радиационный, контроль проникающими веществами. Но к наиболее эффективным методам относятся рентгеновские. С использованием набора высокотехнологичного оборудования они дают возможность получать разностороннюю информацию практически обо всех важнейших параметрах вещества, таких как его состав, кристаллическое совершенство, атомное стро-



ение, энергетическая и электронная структуры и прочее. Особенно важно, что все рентгеновские методы высокочувствительны.

## РАЗНОВИДНОСТИ РЕНТГЕНОВСКИХ МЕТОДОВ

**Рентгенодифракционный анализ.** Метод основан на получении и анализе дифракционной картины, возникающей в результате интерференции рентгеновских лучей, рассеянных электронами атомов облучаемого объекта. Эта картина определяется, помимо атомной и электронной структуры изучаемого объекта, еще и характеристикой рентгеновского излучения.

Рентгенодифракционный анализ позволяет исследовать поликристаллические и монокристаллические объекты как в виде объемных материалов, так и в виде тонких пленок. Для каждого из этих двух типов материалов имеется определенный набор параметров, определяемых с помощью рентгенодифракционного анализа.

**Рентгеноспектральный микроанализ.** Характеристическое рентгеновское излучение возбуждается в образце под воздействием электронного пучка электронов (5-50 кэВ). Определение элементного состава микрообъема проводится на основе сравнения характеристических рентгеновских линий анализируемого образца и эталона. Сканирование электронного пучка по поверхности образца дает возможность получить распределение анализируемого элемента по поверхности образца (в характеристических рентгеновских лучах).

**Малоугловое рассеяние рентгеновских лучей.** В основе метода лежит явление дифракции рентгеновских лучей объектами размером от единиц до сотен нанометров. С помощью этого метода можно определить размеры зерен поликристаллических материалов; атомов в жидких веществах и стеклах; трехмерные размеры блоков (кластеров) в монокристаллах; тип распределения доменов в объеме монокристалла (как объемного, так и пленок-гетероструктур, в частности). Производится также количественная оценка структурного совершенства монокристаллов и количественный анализ структурного совершенства наногетероструктур.

**Спектроскопия рентгеновского поглощения.** В основе метода лежит явление интерференции электронной волны (генерируемой поглощением первичного фотона на возбуждаемом атоме) на окружающих атомах и квантово-механические эффекты, вызываемые интерференцией.

Метод позволяет восстанавливать трехмерное атомное строение вещества (в том числе в нанопленках и нанокластерах); определять расстояния между соседними атомами с точностью  $\sim 0,0005$  нм; энергетическую химию химических связей; электронное строение вещества; локальный химический состав вещества. Метод применим для любого агрегатного состояния вещества: кристаллического, аморфного, жидкого, газообразного.

Исследуемые материалы: полупроводники, металлы, керамика, композитные материалы, минералы, углеродные материалы (в том числе наноразмерные объекты), многослойные эпитаксиальные структуры, лазерные кристаллы, сцинтилляторы, люминофоры, геологические объекты.

Более подробно рассмотрим основные методы рентгеновского контроля: рентгеновскую спектроскопию и рентгеновскую дефектоскопию.

## РЕНТГЕНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

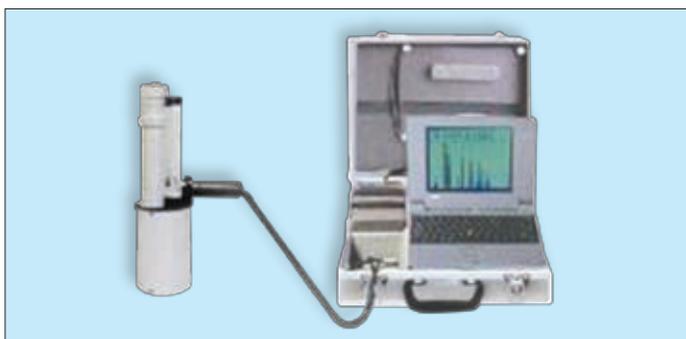
### ЗАО "Южполиметалл-Холдинг" (г. Москва)

Основано в 1993 году. Научно-производственный комплекс с высококвалифицированным кадровым составом, представленным специалистами Минатома, Минобороны, Минвуза, Государственного таможенного комитета РФ и другими. Основные направления деятельности:

- разработка и выпуск приборов (средств измерений), выполняющих качественный и количественный анализ рентгенофлуоресцентным методом;
- метрологическое обеспечение процессов измерения в различных областях промышленности;
- разработка специализированного программного обеспечения.

Предприятием разработано и запущено в серийное производство более 10 наименований и модификаций новых приборов. Организациям и службам как внутри страны, так и за рубежом, поставлено более 400 единиц рентгенофлуоресцентных приборов с обучением пользователей правилам и методам работы. Основные пользователи выпускаемой аппаратуры: подразделения ГТК РФ, Российской государственной приборной палаты, МЧС РФ, Министерство гражданской авиации РФ, крупные промышленные и авиационные компании. Приборы ЗАО "Южполиметалл-Холдинг" неоднократно выставлялись на международных выставках в Индии, Бахрейне, Германии, Латвии, России.

ЗАО разработало и выпускает широко востребованные рентгенофлуоресцентные анализаторы для определения элементного состава материалов. Работа анализаторов основана на регистрации рентгеновского излучения атомов элементов, входящих в состав исследуемого объекта, которое возникает при его облучении внешним источником рентгеновского излучения с использованием малогабаритного рентгеновского аппарата. Кванты регистрируются спектрометрическим приемником, преобразующим энергию зарегистрированного кванта в пропорциональный электрический импульс, который усиливается, обрабатывается и поступает в память портативного компьютера. Спектральное распределение импульсов (амплитудный спектр), зарегистрированное за время измерения исследуемого объекта, и результаты математической обработки в виде рассчитанных концентраций идентифицированных элементов выводятся на экран компьютера и запоминаются в ОЗУ.



**Рис. 1. Рентгенофлуоресцентный анализатор ПРИЗМА-М**

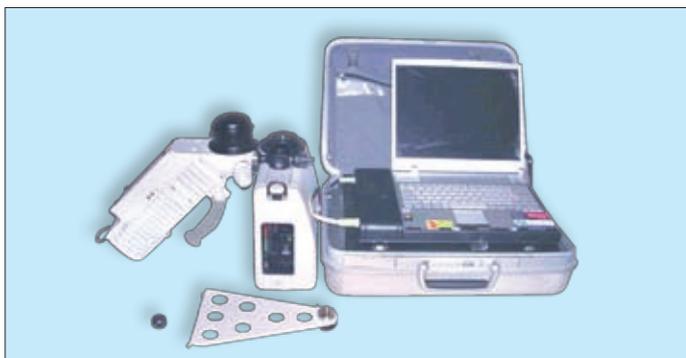
В состав приборов входят:

- блок, выполненный на основе малогабаритного рентгеновского излучателя с термостатированным полупроводниковым кремниевым  $\text{pin}$ -детектором, узел электромеханической блокировки включения-выключения высокого напряжения рентгеновского излучателя через блок управления для обеспечения радиационной безопасности при работе с прибором;
- блок обработки и накопления спектрометрической информации;
- портативный компьютер типа Notebook, снабженный специализированным программным обеспечением, и блок автономного питания прибора.

Конструкция датчика полностью обеспечивает защиту персонала от облучения.

Рассмотрим ряд приборов фирмы "Южполиметалл-Холдинг".

**Рентгенофлуоресцентный анализатор ПРИЗМА-М** – носимый прибор (рис. 1), предназначенный для качественного анализа состава исследуемых материалов и оценки количественного содержания в них основных элементов, идентификации материалов и элементного анализа веществ в твердом, жидком, вязком и порошкообразном состоянии. Одновременно в исследуемом материале можно определять до 21 элемента, а всего прибор идентифицирует и оценивает в исследуемом объекте содержание более 70 элементов, в том числе: Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, U, Np, Pu. Анализатор может опре-



**Рис. 2. Анализатор МАГНИЙ-1**

делить содержание элементов в диапазоне от 0,1 до 100%. Нижняя граница оценки содержания определяемых элементов зависит от перекрытия спектральных линий мешающих элементов и физического состояния образца и может составлять сотые доли процента.

На приборе можно определить по группам типы сталей и сплавов (цветные, черные и специальные). Эффективность анализатора высокая: золотые и серебряные оклады икон можно выявить и под слоем маскирующего покрытия, например латуни.

Используется как в стационарном (лаборатория), так и в носимом вариантах.

**Рентгенофлуоресцентный анализатор ПРИЗМА-М(Au)** предназначен для количественного многоэлементного анализа металлов, сплавов и изделий на их основе и специально адаптирован для анализа гостированных сплавов драгоценных металлов. Области применения: золотоперерабатывающая, ювелирная промышленность; пробирный надзор; экспертиза изделий из драгоценных металлов в музеях, хранилищах, ломбардах; археологическая экспертиза изделий из драгоценных металлов; криминалистика; банковский оборот драгоценных металлов, монет и др.; сортировка изделий, содержащих драгоценные металлы для вторичной переработки. Анализируемые элементы Au, Ag, Pt, Pd, Rh, In, Ir, Fe, Ni, Cu, Cd, Pb, Zn. Диапазон определения содержания от 0,1 до 100%. Масса не более 10 кг.

Анализатор является первым специализированным российским прибором, ориентированным на задачи, связанные с обращением, производством и контролем драгоценных металлов.

**Рентгенофлуоресцентный анализатор МАГНИЙ-1** (рис. 2) с камерой вакуумирования для количественного анализа состава металлов и сплавов в диапазоне от магния до америция.

Анализатор с возбуждением характеристического излучения элементов малогабаритным рентгеновским излучателем проводит многоэлементный анализ металлов, сплавов, в том числе алюминиевых и магниевых, и изделий на их основе, а также идентифицирует химические элементы от магния до америция в веществах, находящихся в порошкообразном и жидком (неагрессивные жидкости) состоянии. Выпускается в носимом варианте (пылевлагозащищенное исполнение), питается от блока аккумуляторных батарей постоянного тока 12 В, вмонтированного в прибор. Кроме того, может устанавливаться стационарно и питаться от сети переменного тока напряжением 220 В  $\pm 15\%$  и частотой (50  $\pm 1$ ) Гц.

Размещается в двух кейсах, габаритные размеры каждого не более 55×250×450 мм, масса не более 20 кг.

**Рентгенофлуоресцентный комплекс экологического контроля "Эко-ПРИЗ"** для анализа микроколичеств металлов и неметаллов, осажденных на фильтрах из твер-



**Рис.3. Автоматизированный диагностический комплекс "АДК-ПРИЗМА"**

дых, жидких и газообразных сред. Разработан совместно со специалистами НПО "Химавтоматика" по заказу Федерального экологического фонда РФ в рамках программы "Многоцелевая экоаналитическая лаборатория "Экомобиль". Комплекс включает в себя анализатор ПРИЗМА, специализированное программное обеспечение, комплект устройств для пробоподготовки. Аттестованные и внесенные в Государственный реестр методики позволяют определять массовые концентрации тяжелых металлов в почвах, водных и воздушных средах. Одновременно определяемые элементы – Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, Sn, W, Pb, Hg и др.

**Автоматизированный диагностический комплекс АДК ПРИЗМА** (рис. 3) разработан в контакте со специалистами диагностических центров ВВС и ГА. Включает в себя РФА "ПРИЗМА", адаптированное программное обеспечение, комплект устройств для пробоподготовки, предназначен для экспрессного определения элементного состава частиц износа, содержащихся в маслах, смазках и рабочих жидкостях. Элементный состав частиц износа несет информацию о техническом состоянии поверхностей трения машин и механизмов. Анализ этой информации позволяет решать задачи допускового контроля и поиска неисправностей, проводить прогнозирование технического состояния машин и механизмов, осуществлять контроль выработки их ресурса, следить в течение всего жизненного цикла за состоянием контролируемого узла трения и принимать решение о виде технического обслуживания. Используется в диагностических центрах, заводских и летающих лабораториях, других организациях, занимающихся технической диагностикой авиационной техники. Определяемые элементы – от Ca до Pb. Одновременно определяемые элементы – Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, Sn, W, Pb. Поэлементный состав уточняется с заказчиком.

### **ЗАО "БАЛТЭК"**

Российская компания. Относится к числу наиболее динамично развивающихся предприятий на территории РФ и стран СНГ. Производит комплексное оснащение предприятий аналитическим, диагностическим и измерительным оборудованием. Представляет продукцию следующих производителей,

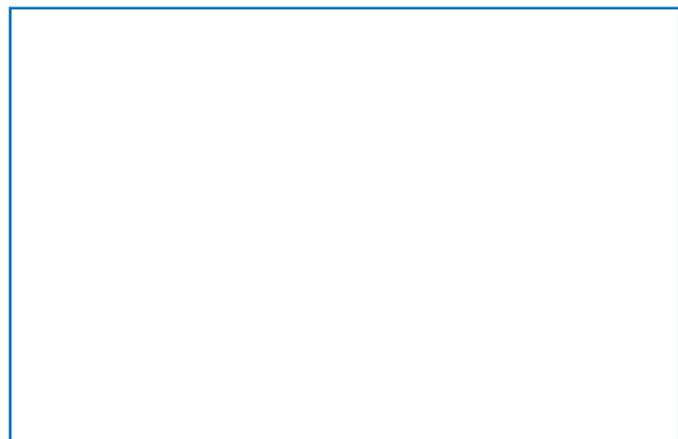
являясь дилером многих из них: ОАО "Экоприбор", ОАО "Электроприбор", ЗАО "ЛЮМЭКС", ЗАО "Миус", ООО "НПО "СПЕКТРОН", ЗАО "Аквилон", ФГУП "СПО "АНАЛИТПРИБОР", ОАО "Нефтехимавтоматика", ОАО "Научприбор" (г. Орел), ООО "СНОЛ-ТЕРМ", ПГ "Метран", ФНПЦ СПб завод "Госметр", НПО "Взлет", НПП "Эконикс", СПП "СпецБалтМебель", а также: TURCK, FLUKE, AnalytikjenaAG, SHIMADZU, BOSH, A&D и др.

ЗАО "БАЛТЭК" занимается продвижением на отечественный рынок новых разработок российских производителей диагностического и аналитического оборудования. Наиболее известное и распространенное оборудование – спектрометры серии "Спекроскан".

**Спектрометры СПЕКТРОСКАН МАКС, СПЕКТРОСКАН МАКС-GV** (рис. 4) позволяют определять содержание любого химического элемента в диапазоне от натрия <sup>11</sup>Na до урана <sup>92</sup>U в различных веществах: твердых, жидких, порошкообразных, нанесенных на поверхности и осажденных на фильтрах.

Принцип действия спектрометров "Спекроскан макс" основан на рентгенофлуоресцентном методе, который относится к методам анализа, не разрушающим пробу. Отличительная особенность спектрометров – применение оригинальной светосильной рентгенооптической схемы. Благодаря этому обеспечивается необходимая чувствительность и высокое разрешение при сохранении размеров настольного прибора. Возможен анализ самых разнообразных многоэлементных веществ. Процедура анализа полностью автоматизирована. Оператор лишь подготавливает образцы, устанавливает их в спектрометр и запускает измерения. Всем дальнейшим процессом, начиная от смены образцов и заканчивая выводом результатов, управляет персональный компьютер. Программное обеспечение, сопровождающее спектрометр, позволяет выполнять качественный и количественный эталонный анализ. Спектрометры СПЕКТРОСКАН МАКС аттестованы Госстандартом России и внесены в Государственный реестр средств измерений.

Для решения целого ряда аналитических задач спектрометры могут сопровождаться аттестованными в Госстандарте методиками выполнения измерений, в комплект поставки





**Рис.4. Спектрометр рентгеновский-кристалл дифракционный серии СПЕКТРОСКАН**

которых входят все необходимые материалы и наборы стандартных образцов. Кроме того, для некоторых задач предусмотрены методические рекомендации.

**Спектрометры рентгеновские-кристалл дифракционные СПЕКТРОСКАН МАКС-FC, СПЕКТРОСКАН МАКС-GF2E, СПЕКТРОСКАН МАКС-GF1E** предназначены для определения содержания химических элементов в различных веществах, находящихся в твердом, порошкообразном или растворенном состояниях, а также нанесенных на поверхности и осажденных на фильтры. Применяются в различных отраслях науки и техники для анализа элементного состава вещества, а также для экологического контроля окружающей среды.

Принцип действия прибора основан на возбуждении и регистрации характеристического излучения химических элементов, интенсивность которого находится в определенной зависимости от количественного содержания этих элементов в анализируемом материале. В качестве источника возбуждающего излучения используется рентгеновская трубка. Характеристическое излучение определяемых элементов выделяется с помощью селективных рентгеновских фильтров и пропорциональных счетчиков. Результаты анализа выводятся на дисплей, распечатываются на принтере.

### КОМПАНИЯ "ТЕРМО ТЕХНО"

Существует на российском рынке с 2000 года и специализируется на поставках и сервисном обслуживании высокотехнологичного оборудования для контроля химического и фа-



**Рис.5. Рентгеновские спектрометры ARL9900**

зового состава различных материалов. В течение многих лет компания – эксклюзивный дистрибьютор на рынках СНГ компании "Thermo Fisher Scientifics" (раньше "ARL") – крупнейшего мирового производителя аналитического оборудования. Отсчет своей деятельности ведет с 1934 (тогда "Thermo Scientific ARL Products") года. Стояла у истоков развития спектрометрии в бывшем СССР. Поставляет спектрометры, дифрактометры.

**Рентгенофлуоресцентный спектрометр ARL9900** – комплексная лаборатория в одном приборе (рис. 5). Серия рентгеновских спектрометров ARL9900 – самая универсальная серия приборов для контроля продукции производства. В одном приборе методом рентгеновской флуоресценции можно определить элементный состав проб, а методом рентгеновской дифракции (XRD) – фазовый состав проб. ARL9900 может определять до 83 элементов (от В до U, т.е от № 5 до № 92 в периодической таблице Менделеева) от уровня ppm до 100%. Современное встроенное программное обеспечение выдает результаты по ходу анализа.



**Рис.6. Рентгенофлуоресцентный спектрометр S2 RANGER**

Модульная конструкция и разнообразные опции дают возможность применять прибор для разнообразных задач в различных условиях производства. Возможен выбор генераторов в зависимости от поставленной задачи: 1200 Вт (ARL9900 OASIS), 3,6 кВт (ARL9900 XP) или 4,2 кВт (ARL9900 XP+).

**Серия рентгенофлуоресцентных спектрометров ARL ADVANT™X** последовательного анализа с технологией IntelliPower позволяет выбрать модель в зависимости от поставленной аналитической задачи. Приборы определяют до 84 элементов периодической таблицы в различных пробах: твердых или жидких, проводящих или непроводящих.

### ЗАО "МЕЛИТЭК"

Научно-производственная фирма с более чем 20-летним опытом внедрения новейшей зарубежной и отечественной техники в различных отраслях промышленности бывшего СССР, России и стран СНГ. Основные направления деятельности: инструментальный контроль химического состава сталей и сплавов, руд и продуктов обогащения; материалографические исследования; исследование физико-механичес-



ких свойств материалов (стали, сплавы, бетон, пластик, резина и т.д.). Поставляет, внедряет и выполняет сервисное обслуживание оптико-эмиссионных и рентгенофлуоресцентных анализаторов химического состава фирм WAS AG (Германия), Bruker-Quantron (Германия), Innov-Systems (США).

**Рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный спектрометр S2 RANGER** для промышленности и научных целей (рис. 6) характеризуется универсальностью решаемых задач, низкой себестоимостью эксплуатации и небольшими размерами. Широко и успешно применяется в таких отраслях промышленности, как цементная, нефтяная и нефтеперерабатывающая, химическая, для переработки отходов, экологического мониторинга и т.д.

Позволяет анализировать элементы от натрия до урана в диапазоне концентраций от ppm до 100% в жидких, твердых и порошковых пробах с минимальной пробоподготовкой, а в некоторых случаях практически без пробоподготовки. Имеет компактный all-in-one дизайн с встроенным компьютером, сенсорным экраном, принтером и вакуумным насосом, что значительно экономит рабочее пространство.

**Рентгенофлуоресцентный спектрометр S4 PIONEER** (рис. 7) характеризуется высокой чувствительностью к легким элементам и точностью определения следовых концентраций. Позволяет анализировать все элементы от бериллия до урана в жидких, твердых и порошкообразных пробах, а именно: металлы, ферросплавы, концентраты, руды, огнеупоры, шлаки, золы, топлива, сточные воды – и это не полный перечень проб, которые можно анализировать на приборе.

Основные характеристики: полный диапазон элементов от бериллия до урана; концентрации от долей ppm до 100 %; высокая точность до 0,05% отн.; типичное время измерения 10–20 с на элемент; мощная 4-кВт рентгеновская трубка с автоматической системой водяного охлаждения; максимальные параметры трубки 60 кВ, 150 мА.

**Рентгенофлуоресцентный спектрометр S8 TIGER** – новый прибор, сочетающий в себе высокие аналитические возможности, простоту использования и компактный современный дизайн. Лучшие аналитические характеристики обус-

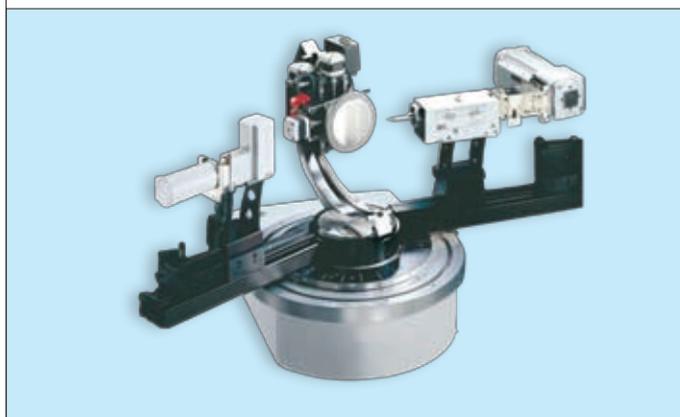


**Рис. 7. Рентгенофлуоресцентный спектрометр S4 PIONEER**

ловлены применением новейших технологий в таких компонентах спектрометра, как рентгеновская оптика и источник возбуждения. Использование усовершенствованных кристалл-анализаторов наряду с более эффективным возбуждением с помощью новой рентгеновской трубки позволяет получать более широкие пределы обнаружения с высокими точностью и разрешением. Прибор разработан специально для решения задач контроля качества производства в промышленности, а также для универсального рентгенофлуоресцентного анализа в научно-исследовательских лабораториях.

Возможно определение всех элементов от бериллия до урана в различных образцах: твердые вещества, жидкости или порошки. Программа SPECTRAplus с пакетом анализа QUANT EXPRESS позволяет проводить очень быстрый анализ абсолютно неизвестных проб.

Фирма ЗАО "Мелитэк" выпускает также ряд рентгеновских дифрактометров.



**Рис. 8. Рентгеновский дифрактометр D8 DISCOVER**

**Автоматический рентгеновский дифрактометр D4 ENDEAVOR** решает задачи количественного и качественного фазового анализа, изучения профиля пиков, измерения остаточного напряжения и определения структуры. Применяется в науке, исследованиях, для контроля качества на производстве.

Прибор работает с различными видами проб: порошками, тонкими и малыми пробами, веществами, чувствительными к окружающей среде. В комбинации с рентгенофлуоресцентным

спектрометром S4 может быть включен в автоматизированный лабораторный комплекс. Имеет пакет программного обеспечения DIFFRACplus. Возможно удаленное управление по компьютерной сети.

**Рентгеновский дифрактометр D8 ADVANCE** прост в работе, удобен в управлении. Имеет эргономичный и модульный дизайн, отличается высокой надежностью и широким спектром возможных применений.

**Рентгеновский дифрактометр D8 DISCOVER** (рис. 8) оснащен рентгеновской трубкой с вращающимся анодом и двухкоординатным детектором. Имеет специализированные конфигурации для рефлектометрии при работы с тонкими пленками. Назначение – исследование материалов, изучение и контроль качества полупроводников. Позволяет анализировать поликристаллические объекты (фазовый состав, параметры элементарной ячейки индивидуальных соединений; тип и состав твердого раствора; размеры областей когерентного рассеяния и многое другое) и монокристаллические образцы, том числе эпитаксиальные слои и гетероструктуры (определение ориентировки кристалла; периода идентичности в определенном кристаллографическом направлении; толщины слоев; степени структурного совершенства; периода сверхрешетки; состава твердого раствора).

**Спектрометр МАКСИМ** – оригинальная разработка ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург). Предназначен для исследования материалов полупроводниковой микро- и наноэлектроники (практически без ограничений), металлов, композитов, керамик, аморфных веществ, объектов биологии и медицины, объектов археологии, геологии и др. Технические характеристики: источник рентгеновских лучей с вращающимся анодом (12 кВт); разрешение по энергии фотонов не хуже  $10^{-4}$ ; диапазон по химическим элементам от легких до тяжелых; автоматизированная система управления.

### РЕНТГЕНОВСКАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Рентгенодефектоскопия основана на поглощении рентгеновских лучей, степень которого зависит от плотности среды и атомного номера элементов, образующих материал среды. Такие дефекты, как трещины, раковины или инородные включения, выявляются в проходящих через материал лучах. Регистрируя распределение их интенсивности, можно определить наличие и расположение различных неоднородностей материала.

Чувствительность методов рентгенодефектоскопии определяется отношением протяженности дефекта в направлении просвечивания к толщине детали в этом сечении и для различных материалов составляет 1-10%. Применение рентгенодефектоскопии эффективно для анализа деталей сравнительно небольшой толщины.

Рентгенодефектоскопию применяют для определения раковин, грубых трещин, посторонних включений в литых и



Рис.9. Рентгеновский аппарат ШМЕЛЬ-250

сварных стальных изделиях толщиной до 80 мм и в изделиях из легких сплавов толщиной до 250 мм. Для этого используют промышленные рентгеновские установки с энергией излучения от 5–10 до 200–400 кэВ. Изделия большей толщины (до 500 мм) просвечивают сверхжестким электромагнитным излучением с энергией в десятки мегаэлектронвольт.

Рентгеновская дифрактометрия является важным неразрушающим методом анализа веществ в жидком, порошковом или кристаллическом виде. Без этого метода изучение свойств материалов и контроль качества в науке и на производстве невозможен.

Области применения дифрактометрии: фазовый анализ, кристаллография, исследование тонких пленок и наноматериалов, изучение поведения материалов в нестандартных атмосферных условиях.

### ФИРМА "ФЛЭШ ЭЛЕКТРОНИКС"

ООО "Флэш электроникс" (Москва) входит в Ассоциацию Спектр-Групп. Создано в 1993 году. Производит технические средства рентгеновского неразрушающего контроля. Выпускаемая аппаратура позволяет решать широкий круг задач при проведении рентгеновского неразрушающего контроля, диагностики материалов и изделий как в цеховых, так и в полевых условиях. Фирма специализируется также в оказании услуг и производстве рентгенодиагностического оборудования для систем обеспечения безопасности.

Характерные особенности техники, производимой ООО "Флэш электроникс": мобильность, возможность автономной работы от встроенных источников питания; возможность работы в любых погодных условиях (пыле- и влагозащищенное исполнение, широкий диапазон рабочих температур); высокая степень электро- и радиационной безопасности.

Вся выпускаемая техника сертифицирована. Точность примененных технических решений, высокие потребительские качества техники подтверждены ее продажами. На данный момент поставлено различным организациям более 1200 единиц рентгеновской техники.

**Аппараты серии ШМЕЛЬ** (рис. 9) применяются для рентгенографии сварных соединений в полевых условиях при прокладке и обслуживании газо- и нефтепроводов; дефектоскопии муфт, кабелей, железобетонных и стальных конструк-



ций. Могут использоваться в передвижных дефектоскопических лабораториях. Просты и удобны в обслуживании и эксплуатации, питаются от промышленной сети или аккумуляторных батарей.

Рентгеновские аппараты ШМЕЛЬ состоят из двух блоков: рентгеновского моноблока и пульта управления. Имеют биологическую защиту от обратного и рассеянного излучения, что обеспечивает безопасную работу оператора без использования специальных средств защиты.

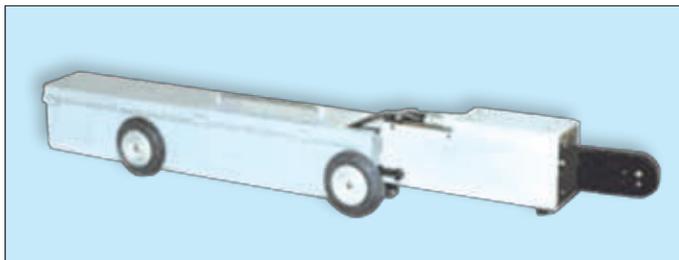
Возможность эксплуатации при любых атмосферных условиях в температурном диапазоне от -40 до 60 °С. Применяются в схемах фронтального и панорамного просвечивания. Выпускаются две модели – ШМЕЛЬ-250 и ШМЕЛЬ-350, которые имеют следующие технические характеристики:

**ШМЕЛЬ-250    ШМЕЛЬ-350**

Выпускается с: .....	1994 г.	2003 г.
Напряжение на рентгеновской трубке, кВ .....	250	350
Фокусное пятно (диаметр), мм .....	2,0	2,0
Максимальная толщина стали, доступная при рентгенографии на пленку, мм: .....	54	68
Потребляемая мощность, Вт .....	20	150
Масса, кг:		
– моноблок .....	8,2	10,2
– пульт управления .....	1,9	1,9
Габаритные размеры, мм:		
– моноблок .....	451×112×210	481×124×220
– пульт управления .....	245×75×155	245×75×155

**ООО "СПЕКТРОФЛЭШ"**

Является дочерней фирмой ОАО "НПП "Буревестник" (г. Санкт-Петербург). Разрабатывает и производит портативные рентгеновские дефектоскопы для неразрушающего контроля материалов, в частности сварных стыков трубопроводов, методом рентгенографии. Многолетний опыт в области разработки и производства импульсной рентгеновской аппаратуры позволил создать надежные, безопасные для персонала, простые рентгеновские дефектоскопы, пригодные для эксплуатации в любых климатических условиях и пользующиеся хорошим спросом на рынке. Приборы поставляются



**Рис. 11. Мини-кроулер СИРЕНА-6**

по предварительным заявкам в минимальные сроки в любую точку России, СНГ, стран ближнего и дальнего зарубежья.

**Импульсные рентгеновские дефектоскопы серии АРИНА** (рис. 10), уже давно получившие высокую оценку потребителей, характеризуются напряжением на рентгеновской трубке от 150 до 250 кВ, просвечиваемой толщиной по стали до 80 мм, диаметром фокусного пятна 2,5 мм (АРИНА-7) и 1 мм (АРИНА-6), имеют массу рентгеновского блока от 5,5 до 8,5 кг.

Достоинства аппарата АРИНА-7 – малые вес и габариты, простота обслуживания безопасность и большой ресурс работы.

Новый прибор АРИНА-6, в отличие от выпускающихся в настоящее время импульсных дефектоскопов серии АРИНА, выполнен на базе термоэмиссионной рентгеновской трубки с постоянным напряжением на электродах и обладает всеми достоинствами импульсных аппаратов (малые габариты и вес, простота обслуживания и управления, надежность, низкая стоимость). Кроме того, есть возможность получения качественных снимков (1 класса чувствительности), а также, по сравнению с самым мощным импульсным дефектоскопом АРИНА-7, аппарат АРИНА-6 обладает в три раза большей мощностью излучения, что обеспечивает высокую производительность рентгенографического контроля. И, наконец, АРИНА-6 имеет существенно больший ресурс работы по сравнению с любой моделью из ряда импульсных аппаратов.

А если учесть, что стоимость нового прибора соизмерима со стоимостью наиболее дорогого импульсного аппарата АРИНА-7, то совершенно очевидно – дефектоскоп АРИНА-6 имеет реальные шансы потеснить на рынке приборов для неразрушающего контроля импульсные рентгеновские аппараты.

СИРЕНА – серия самоходных рентгеновских установок (кроулеров) (рис. 11), предназначенных для использования в качестве источника рентгеновского излучения при автоматизированном контроле сварных швов трубопроводов методом панорамного просвечивания. Установка "Сирена" состоит из рентгеновского излучателя, самоходной тележки для перемещения излучателя внутри трубы и командного аппарата, служащего для дистанционного управления кроулером.

В кроулерах используются импульсные рентгеновские аппараты АРИНА-1, что делает их практически безопасными для обслуживающего персонала. Способ управления кроулерами СИРЕНА защищен российским патентом.



**Рис. 10. Рентгеновский аппарат АРИНА-7**



Рис. 12. Рентгеновские аппараты Eresco

Установки выпускаются в двух модификациях, рассчитанных на различные диаметры трубопроводов, имеют защиту от механических и водных воздействий и разряда аккумуляторной батареи. При срабатывании батареи установки переходят в режим обратного хода и возвращаются назад.

Условия эксплуатации аппарата: диапазон температур от  $-20$  до  $40^{\circ}\text{C}$ , атмосферное давление 101 (+5,3/-25,6) кПа, или 760 (+40/-200) мм рт. ст., относительная влажность воздуха до  $(95\pm 3)\%$  при температуре  $25^{\circ}\text{C}$ . Возможна эксплуатация аппарата при более низких температурах без конденсации влаги.

### КОМПАНИЯ "АСК-РЕНТГЕН"

Основана в 1991 году. Первоначально была совместным предприятием с немецкой фирмой Rich.Seifert & Co GmbH & Co KG под названием "Зайферт – Рентген" и представляла на российском рынке рентгеновское оборудование своего немецкого партнера – производителя промышленной рентгеновской аппаратуры, работающей на рынке приборов для неразрушающего контроля более 100 лет. В настоящее время компания является официальным представителем компании General Electric Inspection Technologies. Кроме продажи и обслуживания в России продукции этой компании под маркой AGFA NDT компания "АСК-Рентген" – эксклюзивный представитель на территории бывшего СССР следующих фирм-партнеров: швейцарской компании COMET – мирового лидера в производстве рентгеновских трубок для неразрушающего контроля, немецкой компании Helmut Fischer – мирового лидера в производстве приборов для измерения толщин металлических и неметаллических покрытий, немецкой компании Chemetall (владельца торговой марки ARDROX) – мирового лидера в производстве расходных материалов для капиллярной и магнитопорошковой дефектоскопии.

Фирма поставляет оборудование для радиационного контроля: рентгеновские аппараты Eresco, Isovolt и рентгенотелевизионные системы и комплексы Seifert.

**Рентгеновские аппараты серии Eresco** (рис. 12) – портативные рентгеновские аппараты, надежны при работе в самых тяжелых условиях. Благодаря использованию современной компактной электроники для минимизации веса и снижения пульсаций высокого напряжения в сочетании с

металлокерамической рентгеновской трубкой аппараты способны генерировать большую дозу рентгеновского излучения, что обеспечивает возможность работать с малым временем экспозиции и, соответственно, высокую производительность.

Пульт управления прост в эксплуатации и снабжен интерфейсом, позволяющим выводить текстовые сообщения на 16 языках. При выключении аппарата предыдущие рабочие параметры (последних 128 экспозиций) сохраняются в памяти и автоматически вызываются при следующем включении.

**Рентгенотелевизионные системы и комплексы Seifert** предназначены для контроля деталей с целью обнаружения внутренних дефектов, проверки качества при производстве, для входного контроля изделий, а также при исследованиях и разработках. Области применения: автомобильная промышленность, трубное производство, электронные компоненты, производство дисков, литейное производство, авиационная и космическая промышленность, атомная промышленность, химическая промышленность, оборонная промышленность, судостроение, электричество, исследования и разработки.

### ООО "СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Поставки приборов, оборудования, оснастки, расходных материалов для всех основных (гостированных) видов неразрушающего контроля (ультразвуковая дефектоскопия и толщинометрия, радиография, магнитопорошковый и капиллярный контроль, вихретоковый контроль, оптико-визуальный контроль и т.д.).

Наиболее распространенное рентгеновское оборудование: аппаратура серии РПД – РПД-200, РПД-200Р, РПД-300, РПД-300СР.

**Портативный рентгеновский аппарат XRD-300СР** представляет собой новейшую разработку компании. Это простой, удобный и надежный при эксплуатации в любых климатических условиях портативный рентгеновский аппарат. Разработан с учетом новейших достижений в данной области. Предназначен для решения широкого круга задач в металлургической и нефтегазовой промышленности, таких как выполнение радиографического контроля качества материалов (в стационарных условиях): сварных соединений трубо-



Рис. 13. Аппараты серии SMART



проводов, листовых и профильных металлических заготовок и изделий, выполненных сваркой плавлением в нижнем, вертикальном и потолочном положении, отливок и поковок из черных и цветных металлов.

Общая масса аппарата вместе с пультом управления – 4,5 кг. Напряжение анода 300 кВ, фокусное пятно 3 мм, максимальная мощность 150 Вт. Электропитание: сеть 220 В или батарея 12 В, масса излучателя 2,5 кг. Размеры трубки 500×90×130 мм, габариты пульта управления 500×140×90 мм, масса пульта управления 1,5 кг.

Рентгеновские аппараты успешно используются совместно с ультразвуковыми дефектоскопами для контроля качества сварных соединений.

### **ЗАО "ИНДУСТРИЯ-СЕРВИС"**

Представляет в России и на территории стран СНГ ведущих производителей средств и приборов неразрушающего контроля: YXLON International (преемник PHILIPS Industrial X-Ray GmbH и ANDREX AS), COMET GmbH, Business unit FEINFOCUS, KODAK, Ely Chemical Co. Ltd. ЗАО поставляет стационарные рентгеновские аппараты на 100, 160, 225 320, 450 кВ и передвижные рентгеновские аппараты на 160 и 225 кВ.

Отличительные особенности: высокая мощность и стабильность, запись и хранение информации.

**Переносные моноблочные рентгеновские аппараты для рентгеноскопии серии SMART** (рис. 13) выпускаются двух видов: направленные на 160, 200 и 300 кВ и панорамные на 200 и 300 кВ. Микропроцессорный блок управления рентгеновского аппарата хранит в памяти 100 введенных программ и параметры 100 последних выполненных экспозиций. Северное исполнение с защитой от переохлаждения.

**Рентгеновский аппарат Y.XPO 225** – новый легкий и компактный моноблочный аппарат повышенной мощности. Напряжение от 25 до 225 кВ, анодный ток от 0,5 до 10 мА, мощность до 1200 Вт, раствор луча 40° x 60°, рабочий цикл 100% при 1000 Вт и 80% при 1200 Вт (до 30°C), рабочая температура от -20°C до 50°C, класс защиты IP65.

### **КОМПАНИЯ ЗАО "СПЕКТР КСК"**

Создана в 2002 году для обеспечения всех отраслей промышленности приборами и оборудованием технической диагностики и неразрушающего контроля качества продукции. Оборудование применяется для магнитного и электромагнитного, рентгеновского, акустического, радиоволнового, оптического, теплового и капиллярного контроля. Поставляются системы экологической диагностики, комплексные системы диагностики и неразрушающего контроля, системы безопасности, досмотровые системы и антитеррористическое оборудование.

ЗАО "СПЕКТР КСК" является дилером и официальным представителем более десятка крупных компаний: ЗАО "ИНТ-

РОСКОП" (Молдавия), ООО Себа КМТ (Германия), Megger (Великобритания), ООО "Тэсто Рус" (Германия), ООО "Промприбор" (Украина) и др.

**Рентгеновские аппараты серии РАТМИР 120, РАТМИР 250** – легкие переносные непрерывного действия для промышленной радиографии.

Серия состоит из аппаратов с предельным напряжением 120 и 190 кВ. Наиболее распространены универсальные аппараты на 190 кВ. Большая толщина просвечиваемой стали и небольшой вес позволяют использовать их практически во всех отраслях промышленности. Аппараты на 120 кВ используются для небольших толщин стали и для объектов из легких сплавов. Исключительно легкий и маленький моноблок позволяет работать с ними в условиях ограниченного пространства, например при проведении контроля внутренних коммуникаций на кораблях, подводных лодках, самолетах. Аппарат на 190 кВ также выпускается с панорамной рентгеновской трубкой для использования внутри труб или для установки на кроулер. Новый переносной аппарат на 250 кВ имеет большую массу по сравнению с аппаратом на 190 кВ, но большая глубина просвечиваемой стали делает его незаменимым при рентгеновском контроле труб большого диаметра.

В статье не рассматривались рентгеновская томография и бетатроны-интроскопы. Это тема отдельной статьи. ○