

ПОИСКОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИНТРОСКОПИИ.

РЕНТГЕНОВСКИЕ СИСТЕМЫ. ЧАСТЬ II.

Во второй части работы рассматриваются основы построения, технические характеристики, функциональные возможности и сферы применения широкого спектра отечественных средств радиационной интроскопии.

Флуороскопические поисковые системы

Помимо деления на портативные, мобильные и стационарные, флуороскопические системы делятся на пассивные, в которых изображение внутренней структуры объекта контроля наблюдается непосредственно на радиационно-оптическом преобразователе, и активные устройства, где первичная светотеневая картина с целью повышения ее качества усиливается или трансформируется различными электронными средствами.

Дальнейшую классификацию систем радиационной флуороскопии осуществляют на основе рабочих характеристик: чувствительность (определяемая как обратное значение мощности дозы излучения $P_Э$ в плоскости детектора) и разрешающая способность R . С учетом этого, современные средства радиационной интроскопии, характеризующиеся наличием большого числа разнообразных систем и отличающиеся назначением, принципом действия, сложностью, стоимостью, массой и т.п. условно объединяют в два вида: системы с низким разрешением ($R=2 - 5$ пар.лин.мм⁻¹) и высокой чувствительностью (рабочее значение мощности экспозиционной дозы $P_Э$ в плоскости радиационно-оптического преобразователя $\leq 4 \cdot 10^{-8}$ А•кг⁻¹) и системы с высоким разрешением ($R=20 - 40$ пар лин.мм⁻¹), но низкой чувствительности $P_Э = (1 - 3) \cdot 10^{-3}$ А•кг⁻¹).

Пассивные флуороскопы просты по конструкции, неприхотливы, недороги, надежны, имеют простые методики контроля. Диапазон яркости экрана пассивных флуороскопов лежит в пределах от 10^{-3} до 10^{-1} кд•м⁻², а дефектоскопическая чувствительность не превышает 4 – 7%. Следует отметить, что увеличение яркости экрана от 10^{-3} до 10^{-1} кд•м⁻² обеспечивает почти шестикратное увеличение разрешающей способности устройств, но для достижения максимальной чувствительности, т.е. для выявления деталей изображения с пороговым контрастом 0,02, необходима яркость светотеневой картины в диапазоне от 1 до 10^3 кд•м⁻¹.

Яркость светотеневой картины является функцией коэффициента конверсии экрана и мощности экспозиционной дозы. Максимальное значение коэффициента конверсии флуороскопических экранов среднего качества лежит в диапазоне энергии 45 – 50 кэВ и составляет 0,17 кд. ⁻² Р⁻¹ мин и может быть увеличена с использованием различных технологических приемов максимум на 30% для лучших экземпляров.

Радиационные интроскопы, относящиеся к пассивным флуороскопическим системам, разрабатываются в виде портативных устройств для контроля объектов, без предъявления высоких требований к дефектности, и стационарных комплексов, где необходимо наблюдение изображения с достаточно большой площади.

Основным недостатком пассивных флуороскопических систем, ограничивающим сферу их применения, является низкий уровень яркости наблюдаемой светотеневой картины при достаточно высоких радиационных нагрузках на объект контроля.

Активные флуороскопические системы обеспечивают комфортные условия контроля (яркость наблюдаемого изображения регулируется от 1 до 100 кд.м⁻²) и при одинаковых условиях работы обладают чувствительностью в два и более раз выше, чем пассивные. Коэффициент конверсии активных флуороскопических систем составляет от единиц до нескольких десятков и даже сотен кд.м⁻² Р⁻¹ мин.

Поиск компромисса между величиной радиационной нагрузки на объект контроля, чувствительностью, разрешающей способностью, контрастом, весогабаритными и эксплуатационными характеристиками определил приоритетность создания флуороскопических поисковых систем активного типа. В качестве активных элементов, обеспечивающих достижения коэффициента конверсии флуороскопических систем до нескольких сотен $\text{кд}\cdot\text{м}^{-2}\text{Р}^{-1}\text{мин}$, в зависимости от решения конкретной задачи могут использоваться: электронно-оптические усилители яркости оптического изображения (ЭОПы), рентгеновские электронно-оптические преобразователи (РЭОПы), телевизионные камеры (ТВ). Предельные уровни чувствительности, достигаемые флуороскопическими поисковыми системами на основе перечисленных устройств, приведены на рис. 1 в виде графиков обобщенных значений чувствительности при контроле объектов, эквивалентных по плотности Al. Для сравнения здесь же приведена характеристика пассивной флуороскопической системы РД-12 ПК («СОКА»), являющейся одним из первых отечественных портативных комплектов, принятом на вооружение спецслужб в 70-х годах и успешно эксплуатируемого в течение полутора десятков лет.

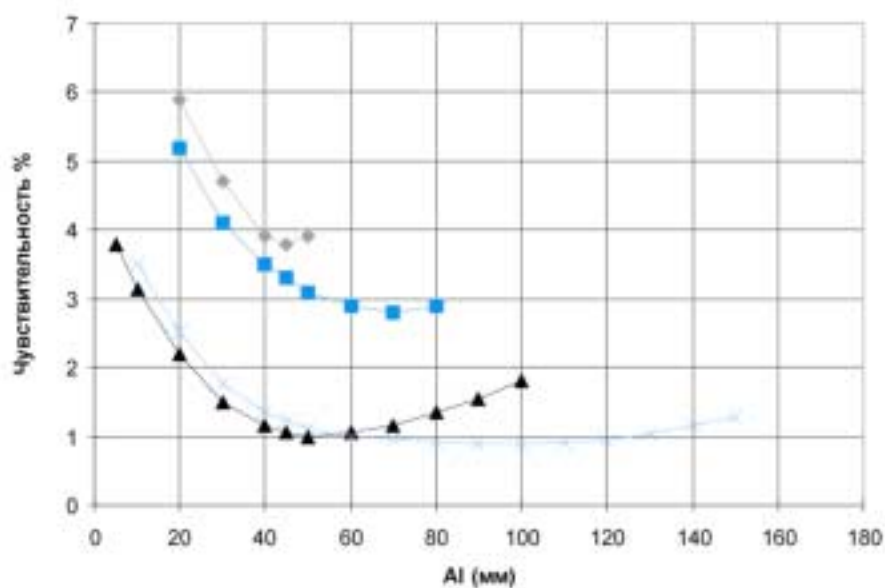


Рис. 1. Чувствительность флуороскопических систем:

1 – комплект РД-12 ПК (пассивная система);

2 – флуороскопическая система на основе ТВ-канала (видикон);

3 – флуороскопическая система на основе ТВ-канала (ПЗС-матрица + цифровая обработка и накопление сигнала);

4 – активная флуороскопическая система на основе РЭОПа.

Поисковые средства радиационной интроскопии активного типа обеспечивают получение максимума информации о внутренней структуре объекта контроля при минимальном уровне радиационной нагрузки на него, обладают оптимальными соотношениями между весогабаритными и эксплуатационными характеристиками и отвечают жестким требованиям по безопасности работы с ними.

Активные флуороскопические поисковые системы на основе РЭОПов, а также на основе усилителей яркости изображения отвечают перечисленным выше параметрам и обеспечивают достижение высокой чувствительности. Однако применение РЭОПов в поисковых системах ограничено в первую очередь их внушительными весогабаритными характеристиками и значительным энергопотреблением, в то время как ЭОПы лишены указанных недостатков и, имея высокое разрешение и удовлетворительную чувствительность, могут обеспечить наблюдение светотеневого изображения при уровнях освещенности $10^{-6} - 10^{-7}$ лк. Таким образом, применение ЭОПов особенно 2-го и 3-го поколений в радиационных поисковых системах можно считать обоснованным, а с учетом после-

дующей практической реализации и эксплуатации - предпочтительным. Появление высокочувствительных малогабаритных приемопередающих телевизионных камер на основе ПЗС-матриц и небольших размеров видеоконтрольных устройств составило мощную конкуренцию ЭОПам и определило в большинстве случаев предпочтительное их использование, особенно в мобильных системах, где требуется документирование или трансляция получаемого изображения.

Важным моментом при проектировании поисковых флуороскопических систем является определение оптимального типа и характеристик первичного рентгенооптического преобразователя – флуоресцентного экрана, обеспечивающего высокую эффективность радиационно-оптического преобразования, малый уровень потерь света и высокое пространственное разрешение в выбранном диапазоне эффективной энергии первичного излучения $E_{эфф}$.

Эффективность флуоресцентных экранов в основном определяется толщиной рабочего слоя (нагрузка) и типом люминофора. Мерой эффективности служит конверсионный фактор G_B , определяемый как отношение яркости люминесценции B_{Σ} к мощности экспозиционной дозы P :

$$G_B = B_{\Sigma} / P$$

Яркость люминесценции является функцией светового потока от элементарного слоя экрана и может с учетом незначительных упрощений определена как:

$$B_{\Sigma} = 0.5 \int_0^g k \mu_m N_0 (1 + \rho) \exp(-\mu_m x) \exp(-\xi_m x) dx,$$

здесь N_0 – первичный поток энергии рентгеновского излучения, μ_m и ξ_m – массовые коэффициенты ослабления люминофором рентгеновского излучения и света соответственно, g – нагрузка люминофора, а ρ – коэффициент отражения люминесценции от подложки экрана. Коэффициент k характеризует степень соответствия между спектром высвечивания люминесцентного экрана $I(\lambda)$ и спектральной чувствительностью приемника оптического излучения $S(\lambda)$, который в общем виде может быть представлен как:

$$k = \int_0^{\infty} I(\lambda) d\lambda S(\lambda) \left[S_{\max} \int_0^{\infty} I(\lambda) d\lambda \right]^{-1},$$

в этом случае S_{\max} – максимальная чувствительность приемника излучения.

Анализ характеристик различных типов экранов на основе представленных выражений и данные экспериментальных исследований, результаты которых приведены в таблице 1, позволяют сделать вывод о том, что в активных поисковых флуороскопических системах на основе ЭОПов или ПЗС-ТВ-камер в диапазоне эффективной энергии до 40 кэВ целесообразно использовать экраны на основе люминофора ZnSCdS-Ag с нагрузкой 80-100 мг•см⁻² и обладающего некоторыми преимуществами экрана с люминофором Gd₂O₂S-Tb.

Таблица 1. Основные характеристики люминофоров

ЛЮМИНОФОР	Zэфф	Длина волны макс светов., нм	Коэффициент спектрального соответствия				
			Коэфф. конверсии нит*Р * мин	CsSb-фотокатод	Мультищелочной фотокатод	ПЗС-матрица	Пленка типа РФ-3
0.6ZnS 0.4CdS-Ag	35	528	0.2	0.62	0.92	0.92	0.47
0.55ZnS 0.45CdS-Ag	36	540	0.19	0.53	0.96	0.95	0.47
CsI-Tl	54	540	0.2	0.48	0.83	0.78	-
Gd ₂ O ₂ S-Tb	59.5	548	0.18		0.98	0.97	-

В более высоком диапазоне первичного излучения предпочтение целесообразно отдавать экранам на основе CsI(Tl) – люминофора как в виде монокристалла, так и в виде эпитаксиальной структуры.

Практика и результаты разработок показали, что при проектировании поисковых флуороскопических систем вполне достаточно ограничиться исследованием и применением двух указанных типов люминофора, поскольку их спектр высвечивания максимально соответствует спектральной чувствительности мультищелочных фотокатодов ЭОПов второго и второго + поколений, а коэффициент конверсии выше, чем для ряда сульфидных и окисульфидных, активированных тербием, люминофоров.

Возможные варианты структурно-функциональных схем портативных и мобильных радиационных поисковых систем активного типа представлены на рис.2.

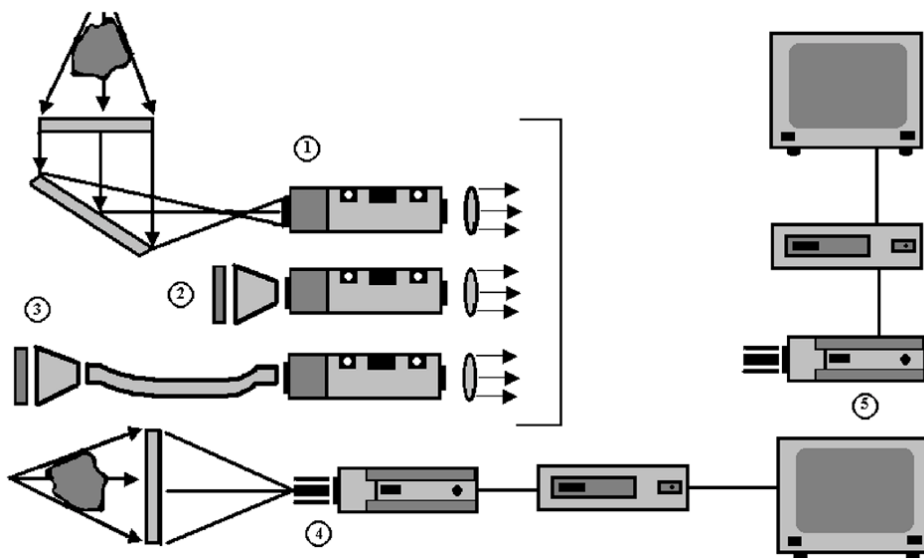


Рис.2. Варианты структурно-функциональных схем флуороскопических поисковых радиационных систем.

Реализация базовой модели (1), включающей поворотное зеркало, входную и выходную оптику, ЭОП, обеспечивает построение поисковых систем портативного типа для работы в энергетическом диапазоне рентгеновского излучения при анодном напряжении рентгеновского аппарата до 120 кВ. Обеспечение безопасности при работе с аппаратурой достигается за счет поворотного зеркала и разнесения на достаточно значительное расстояние флуоресцентного экрана и окуляра. При этом предъявляются жесткие требования как к входной оптике, которая должна обладать высоким разрешением и светосилой, так и к окуляру, который должен иметь короткий фокус и исключать наличие дисторсии при передаче изображения с экрана ЭОПа не менее чем с двухкратным увеличением.

В структурно-функциональных схемах (2) и (3) для трансформации изображения с люминесцентного экрана на фотокадод ЭОПа используется световолоконная оптика и фокусная линза. Такое построение является оптимальным для флуороскопических систем с небольшими экранами, основное назначение которых - контроль труднодоступных мест, таких как фрагменты зданий, инженерных коммуникаций, мебели, узлов автомобилей и т.п. Кроме того, весьма перспективным является создание на их основе автономных портативных поисковых систем, работающих с изотопными источниками в качестве первичного излучателя. Рекомендательный рабочий энергетический диапазон таких флуороскопов лежит в пределах 20 – 150 кВ анодного напряжения. Наблюдение радиационно-оптического изображения в представленных структурных схемах предусматривается как непосредственно с экрана ЭОПа, так и с помощью телевизионного канала, значительно расширяющего функциональные возможности аппаратуры (5). Структурная схема (4) является по сути классической для рентгеновско-телевизионных флуороскопических систем, и лежит в основе мобильных, быстро разворачиваемых поисковых систем, предназначенных для работы в полевых ус-

ловиях, на временных контрольных пунктах и других не оборудованных стационарными системами мест. Рабочий энергетический диапазон таких систем может составлять 50-250 кВ, а размеры экрана достигать внушительных величин.

Первыми современными отечественными портативными поисковыми флуороскопическими системами, отвечающими практически полному набору требований по чувствительности, функциональным возможностям, весогабаритным характеристикам и безопасности эксплуатации, явились изделия ФП-1 («ШВЕРТБОТ-3») и ФП-2, созданные и выпускаемые ЗАО МНПО «СПЕКТР» с 1986 года для замены морально устаревшего комплекта РД-12ПК («ОСОКА»).

Изображенные на фото 1 рентгеновские поисковые флуороскопы, выполненные на основе единой структурно-функциональной схемы и отличающиеся только весогабаритными характеристиками, предназначены для контроля внутреннего содержания предметов и объектов, легких строительных конструкций, мебели, фурнитуры и т.п. при проведении поисковых мероприятий. Достаточно эффективны при визуализации почтовых отправлений, ручной клади, легкого багажа. Могут использоваться при досмотре транспортных средств с целью поиска тайников и недозволенных вложений. Устройства достаточно универсальны и могут решать широкий спектр поисковых задач, где необходимо контролировать внутреннюю структуру различных объектов. Использование в конструкции флуороскопов в качестве усилителя яркости изображения электронно-оптического преобразователя второго и второго плюс поколений обеспечивает достижение высокой чувствительности и безопасную работу с аппаратурой. Поисковые флуороскопы могут работать практически с любым видом портативных рентгеновских аппаратов, но особенно эффективны при использовании таких, как РАМ-75 и РЕИС-100.

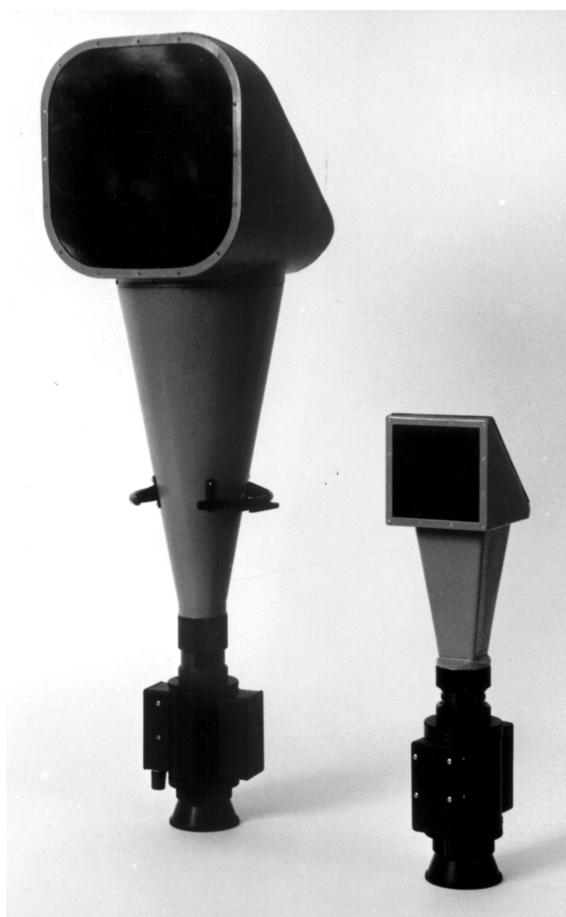


Фото 1. Портативные флуороскопы ФП-1 и ФП-2.

Размер флуороскопических экранов составляет 200x200 мм (ФП-1) и 100x100 мм (ФП-2). Доступные для контроля толщины не превышают 30 мм по А1 эквиваленту. Пространственное разрешение поисковых флуороскопов не хуже 2 п.л/мм по всей площади экрана. При рабочем напряжении рентгеновской трубки 30 – 75 кВ и анодном токе в пределах 0,1-5 мА обеспечивается выявление

стальной проволоки $\varnothing 0,08$ мм за слоем фторопласта толщиной 15 мм и проволоки диаметром 0,4 мм за слоем стали толщиной 6 мм. Масса изделий не превышает 3 кг для ФП-1 и 2 кг – для ФП-2. Изделия ФП-1 и ФП-2 эффективно используются техническими подразделениями спецслужб и силовых структур уже в течение достаточно продолжительного периода времени. Несколько лет назад ООО «Флэш Электроникс» начало предлагать рентгеновские системы контроля под общим названием «ШМЕЛЬ». Входящая в комплекс «ШМЕЛЬ-90» флуороскопическая камера по своему внешнему виду, структурно-функциональной схеме и техническим параметрам является практически полным аналогом ФП-1.

Для контроля труднодоступных мест зданий, сооружений, транспортных средств, электронной и бытовой техники при проведении поисковых мероприятий предназначен поисковый флуороскоп ФП-4 («ШВЕЛЛЕР», 1989г.), изображенный на фото 2.



Фото 2. Внешний вид портативного флуороскопа ФП-4.

В соответствии с назначением конструкция флуороскопа реализована в виде разнесенных и соединенных стекловолоконным жгутом блока радиационно-оптического преобразования и модуля усиления и вывода изображения, что позволяет осуществлять детальный контроль с проекционным увеличением масштаба изображения и выявлять мелкие дефекты и вложения. Радиационно-оптическое изображение с флуороскопического экрана с помощью фокальной линзы и стекловолоконного жгута трансформируется на фотокатод ЭОПа. Усиленное изображение наблюдается на экране ЭОПа через окуляр с двухкратным увеличением, что обеспечивает идентичность масштабов наблюдаемого и сформированного на первичном преобразователе изображений. Диаметр экрана изделия ФП-4 составляет 50 мм, длина стекловолоконного жгута – 1000 мм, масса не превышает 4 кг.

При использовании флуороскопа совместно с рентгеновским аппаратом типа РЕИС пространственное разрешение составляет величину не хуже 3 п.л./мм. Дефектоскопическая чувствительность по А1 лежит в пределах 2,5-3%.

Особое место в системе портативных флуороскопов принадлежит изделию ФП-3И («ШЕНКЕЛЬ», 1990г.), изображенному на фото 3 и представляющему собой простой в эксплуатации, автономный, портативный прибор с радионуклидным источником гамма-излучения и предназначенному для визуализации внутренней структуры широкого круга небольших объектов и предметов, с целью поиска запрещенных вложений, взрывных и подслушивающих устройств, ювелирных изделий, наркотиков и т.п. Флуороскоп особенно эффективен при работе в полевых условиях, поскольку имеет автономное питание, а в качестве излучателя используется радионуклидный источник (I-125, Gd-153).



Фото 3. Флуороскоп ФП-3И:
а - в укладке; б - в процессе эксплуатации.

Помимо решения поисковых задач ФП-3И может использоваться для медицинских целей: диагностика конечностей с целью выявления вывихов, переломов, локализации инородных включений. Может входить в таблицу положенности подразделений полевой медицины, травматологических пунктов, бригад скорой помощи и подразделений МЧС. Флуороскоп безопасен в работе. Корпус просмотровой камеры защищает оператора от воздействия прямого пучка излучения, а воздействие рассеянного излучения значительно ниже допустимого уровня. Источник излучения помещен в контейнер из специального сплава и в зону коллимационного отверстия подается с помощью гидравлики. В изделии применены специально разработанные фоконная линза для передачи радиационно-оптического изображения с экрана на фотокатод ЭОПа и четырехлинзовый окуляр, обеспечивающий комфортное наблюдение результатов контроля на экране ЭОПа. Параметры линзы и окуляра позволяют наблюдать внутреннюю структуру объекта контроля без геометрических искажений. Диаметр флуороскопического экрана 50 мм, длина и глубина рабочей зоны – 120x190 мм, масса флуороскопа не превышает 4 кг.

Доступные для контроля толщины объектов составляют ~5 мм по Al эквиваленту при использовании изотопа I-125 и не менее 20 мм при изотопе Gd-152. При этом пространственное разрешение флуороскопа не хуже 1 п.л./мм. Дефектоскопическая чувствительность составляет ~3%.

Для решения широкого спектра поисковых задач, а также для использования в работах по рентгеновской дефектоскопии и неразрушающему контролю различных материалов и изделий, предназначен поисковый флуороскопический комплект «ОЧЕРТАНИЕ-К2» (1989г.), представленный на фото 4.

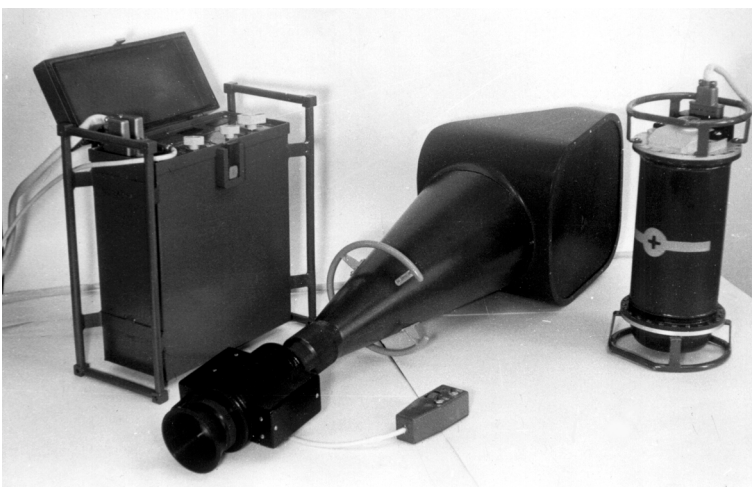


Фото 4. Комплект рентгеновского флуороскопа «ОЧЕРТАНИЕ-К2»

Поисковый комплект «ОЧЕРТАНИЕ-К2» включает в себя два основных изделия: флуороскоп ФП-1 и рентгеновский аппарат РАП-75, разработанный специально для работы с флуороскопами ФП-1 и ФП-2. Рентгеновский аппарат РАП-75 выполнен по схеме высокочастотного преобразования с

умножением и обеспечивает генерацию «постоянного рентгена». Кроме того, реализация режима ступенчатой регулировки анодного напряжения 30, 40, 50 и 75 кВ, а также тока в диапазоне от нуля до 3 мА делает этот аппарат универсальным инструментом для решения широкого спектра задач. Настоящий комплекс предназначен для работы как в полевых, так и в условиях помещения, специальной лаборатории, внутри транспортного средства и т.п. Комплект вместе с достаточным количеством приспособлений и фурнитуры упаковывается в два кофра и разворачивается в рабочее положение за весьма короткое время. Работают с комплектом не менее двух человек.

Функциональные возможности комплекта определяются флуороскопом ФП-1 и рентгеновским аппаратом РАП-75. Комплект укладывается в две упаковки, суммарный вес которых не превышает 20 кг.

С 1996 года, как уже отмечалось выше, на рынке рентгеновских флуороскопических систем представлен комплекс «ШМЕЛЬ-90» (фото 5), в состав которого входит рентгеновский аппарат с частотно-импульсным преобразованием.



Фото 5. Комплекс «ШМЕЛЬ-90».

Мобильный поисковый рентгенотелевизионный интроскоп «ШЕСТ» (1991г.), представленный на фото 6, разработан на основе комплекта «ОЧЕРТАНИЕ-К2». В интроскопе блок усиления яркости на основе ЭОПа заменен на телевизионный тракт, включающий высокочувствительную передающую ТВ-камеру, блок управления с модулем цифровой памяти и малогабаритное ВКУ. Для расширения функциональных возможностей в интроскопе предусмотрено питание как от сети, так и от аккумуляторной батареи. Помимо решения поисковых задач интроскоп является достаточно эффективным инструментом для диагностирования переломов конечностей и ребер, повреждений черепа, локализации инородных включений в теле. Может использоваться для оснащения полевых медицинских подразделений Министерства обороны, МЧС, аварийно-спасательных формирований.



Фото 6. Рентгеновский комплекс «ШЕСТ».

Безопасность персонала при работе с интроскопом обеспечивается его высокой чувствительностью, наличием цифровой памяти и дистанционного управления.

Параметры рентгеновского аппарата, входящего в состав комплекса, обеспечивают ступенчатую регулировку анодного напряжения в пределах 30-100 кВ и тока от 0 до 5 мА. Размер формируемого телевизионного изображения 512x512 элементов.

Современная модель изделия «ШЕСТ» («ОЧЕРТЯНИЕ-ТВ») оснащена малогабаритной ТВ-камерой с пороговой чувствительностью $3 \cdot 10^{-4}$ лк., малогабаритным LCD-монитором, имеет связь с компьютером и необходимый пакет программного обеспечения. Возможно использование широкого спектра рентгеновских аппаратов.

Для оснащения временных, полустационарных или мобильных контрольно-пропускных пунктов и таможенных постов предназначен мобильный поисковый рентгенотелевизионный комплекс «ШЕЛЕСТ» (1993г.), представленный на фото 7.



Фото 7. Рентгенотелевизионный комплекс «ШЕЛЕСТ».

Комплекс позволяет производить контроль отдельных видов грузов, ручной клади и багажа, а также элементов и узлов корпусов и кузовов автомобилей: дверей, шин, бензобаков, конструктивных полостей и т.п. В состав комплекса входит рентгеновский аппарат, темновая камера с флуороскопическим экраном, передающая ТВ-камера, электронный модуль формирования и записи изображения, видеоконтрольное устройство. В отдельных случаях комплекс может быть дополнен дистанционно управляемым поворотным столом для просмотра контролируемых объектов в различных ракурсах.

Размер флуороскопического экрана темновой камеры комплекса составляет 500x350 мм, штатный рентгеновский аппарат РАП-75. Чувствительность комплекса позволяет контролировать материалы и изделия толщиной до 30 мм по А1 эквиваленту. При этом достоверно выявляется медный провод диаметром 0,2 мм.

Конструкция рентгенотелевизионного комплекса позволяет укладывать все его элементы в темновую камеру, что весьма удобно для хранения и транспортирования.

Мобильные рентгенотелевизионные системы (МРТС) являются в настоящее время универсальным инструментом, обеспечивающим решение широкого спектра поисковых, криминалистических, диагностических и других задач, где необходима визуализация внутренней структуры объектов контроля. Наиболее эффективны такие системы при осуществлении контроля и проведении поисковых мероприятий в нестационарных условиях.

В настоящее время отечественные разработки МРТС могут быть поделены на два типа. К первому типу относятся системы, где в качестве излучателей используются рентгеновские аппараты с частотно-импульсным или квази-импульсным режимом работы. Второй тип устройств включает излучатели на основе «постоянного» рентгена. Оба типа систем имеют как некоторые недостатки, так и свои преимущества. Например, частотно-импульсные аппараты обладают невысокими весогабаритными характеристиками и удовлетворительными параметрами по энергопотреблению. В свою очередь рентгеновские аппараты постоянного напряжения позволяют достичь лучших параметров по частотно-контрастной характеристике рентгенооптического изображения и выявляемости дефектов.

Отечественные разработки представлены несколькими моделями МРТС, основные характеристики которых приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительные характеристики мобильных рентгенотелевизионных комплексов

№	Показатель	Шмель-100ТВ	Шмель-240ТВ	Очертание-ТВ (Шелест)	РОНА/НОРКА
1.	Тип используемых рентгеновских аппаратов	импульсн.	импульсн.	постоян.	пост./мкф
2.	Напряжение на рентгеновской трубке, кВ	100	240	75/100	75/100
3.	Возможность проведения контроля за преградой с суммарной толщиной стенок из: стали, мм алюминия, мм	10 35	19 72	10 40	10/8 40/30
4.	Рабочее поле контроля, мм x мм	180x240	240x320, 320x420, под заказ	250x250 320x420	90x120 190x260 270x360 294x360
5.	Разрешение системы, пиксель	768x570	768x570	795x596	768x570
6.	Возможность работы в реальном масштабе времени	+	+	+	+
7.	Количество запоминаемых изображений	5000	5000	по требованию	3000
8.	Звуковое сопровождение при записи кадра	+	+	-	-
9.	Псевдораскрашивание	+	+	по требованию	-
10.	Режим автоматического выбора телевизионной камерой экспозиции	+	+	-	+
11.	Температурный диапазон эксплуатации, °С: блок управления и обработки рентгеновский аппарат, преобразователь	-5...+45 -30...+50	-5...+45 -30...+50	5+35 -	+5...+35 -
12.	Внешнее питание, В	=24	=24	=24	-

		≈220	≈220	≈220	≈220
13.	Время непрерывной работы от встроенных аккумуляторных батарей, час	2,5	2,5	2	-
14.	Масса составных частей комплекса, кг:				
	Рентгеновский аппарат	6,2	8,9	12	15,0/8,2
	Преобразователь	3,1	3,5	4 – 6	6,2/6,2
	Блок управления и обработки изображения	8,5	8,0	9	15,0/15,0
	Общая масса с учетом упаковки, соединительных кабелей и аксессуаров, кг	18,8	21,9	30	36,2/29,4

Комплексы «ШМЕЛЬ-100ТВ» и «ШМЕЛЬ-240ТВ» (фото 8) оснащаются частотно импульсными рентгеновскими аппаратами, обеспечивающими возможность контроля достаточно габаритных объектов, эквивалентных по толщине 12-15 мм Fe или 50-60 мм Al с чувствительностью не хуже 5%. Реализованы в виде модульной конструкции с различными преобразованиями, отличающимися размерами поля контроля. Наличие в составе комплекса ЭВМ позволяет осуществлять архивацию результатов контроля, а также обрабатывать первичное изображение по заранее выбранным алгоритмам.



Фото 8. Мобильный рентгеновско-телевизионный комплекс «ШМЕЛЬ-240ТВ».

Немаловажным фактором является возможность работы комплексов достаточно продолжительное время в автономном режиме.

МРТС «РОНА» (фото 9) и ее близкий аналог «НОРКА» также выполнена на основе модульного принципа. С целью подбора оптимальной конфигурации комплекта аппаратуры предлагается четыре типоразмера преобразователей и два варианта рентгеновских излучателей, один из которых имеет микрофокусную трубку.



Фото 9. Мобильная рентгенотелевизионная система «РОНА».

Изделия «РОНА» и «НОРКА» используются в настоящее время для решения широкого круга поисковых задач, отличаются продуманным конструктивным решением, изготовлены на основе современных технологий и имеют весьма конкурентные цены.

На этом целесообразно завершить помодельный анализ МРТС, поскольку существующие как отечественные, так и импортные системы построены по одному принципу, а их функциональные возможности и технические характеристики весьма близки. Следует отметить, что отечественные разработки МРТС не уступают западным аналогам по совокупности параметров, но значительно выигрывают по критерию цена – функциональные возможности – качество. Так, практически при равных функциональных возможностях и близких технических характеристиках отечественные МРТС в несколько раз дешевле импортных. Нельзя, однако, не отметить, что используемые в настоящее время в импортных МРТС рентгеновские излучатели превосходят отечественные аналоги, особенно по весогабаритным характеристикам. Остается надеяться, что ведущиеся сегодня в ряде фирм работы по созданию современных отечественных рентгеновских излучателей, окончание которых запланировано в 1999-2000г.г., устранят отмеченное отставание.

Одним из наиболее информативных средств рентгеновского контроля являются стационарные флуороскопические системы.

Типовой ряд таких устройств значительно уже, однако, как назначение, так и варианты их построения весьма разнообразны.

Настольный стационарный флуороскоп «ЛОТОС» (1992г., фото 10) представляет собой простой и безопасный в эксплуатации аппарат для визуализации внутренней структуры небольших объектов, предметов, почтовых отправлений, электронных устройств и модулей с проекционным увеличением масштаба теневого изображения. Основное применение – на контрольно-пропускных и таможенных пунктах, в офисах, лабораториях и т.п. Флуороскоп позволяет выявлять тщательно скрытые взрывные и электронные устройства, ювелирные изделия, наркотики, а также другие мелкие предметы. Кроме того, флуороскоп позволяет решать задачи, стоящие перед судмедэкспертами, биологами, работниками архивов, коллекционерами и другими исследователями, использующими в работе рентгеновские методы. Флуороскоп включает в себя рентгеновский излучатель, предметный стол, механизмы вертикального перемещения излучателя и предметного стола, флуороскопический экран, поворотное зеркало, блок усиления яркости изображения на основе ЭОПа второго поколения со специальной оптикой, заключенные в защитный бокс. Флуороскоп обслуживается одним оператором. Может работать в любом помещении без дополнительных мер и средств защиты. Двери защитного бокса скоммутированы с пультом управления рентгеновского аппарата и при их открывании автоматически выключается рентгеновский аппарат. Может доукомплектовываться высокочувствительным телевизионным каналом. Диаметр рабочего поля флуороскопического экрана составляет 160 мм, напряжение рентгеновского аппарата 20-100 кВ, ток анода регулируется в пределах от 0 до 100 мкА.



Фото 10. Настольный рентгеновский флуороскоп «ЛОТОС».

С учетом возможности геометрического увеличения масштаба изображения приведенное пространственное разрешение составляет 10-14 п.л./мм, дефектоскопическая чувствительность по Al не хуже 2%.

Широкими возможностями по углубленному контролю предметов и упаковок обладает стационарный двухракурсный флуороскоп «ШИМАЛИТ» (1991г.), изображенный на фото 11.



Фото 11. Стационарный двухракурсный флуороскоп «ШИМАЛИТ».

Флуороскоп обладает объемной темновой камерой с дистанционно управляемым поворотным рентгенопрозрачным столом, что позволяет контролировать различные упаковки и почтовые отправления размером до 400x500x700 мм одновременно в двух проекциях и двумя рентгеновскими аппаратами. Относительная дефектоскопическая чувствительность аппаратуры в диапазоне толщин по Al 5-30 мм - не хуже 3,5%. Анодный ток для излучателя на 10-40 кВ (горизонтальный) регулируется в пределах 0-20 мА, для рентгеновского аппарата на 40-100 кВ (вертикальный излучатель) анодный ток составляет 0-10 мА. Максимальная дефектоскопическая чувствительность, достигнутая по оргстеклу, составляет 1,8%.

Одной из последних разработок фирмы «Флэш Электроникс» является стационарная рентгенотелевизионная установка «ШМЕЛЬ-ТВС», представленная на фото 12. Основное назначение установки – контроль личных вещей посетителей, багажа, упаковок, почтовых отправлений и других объектов. В установке использован двухдиапазонный рентгеновский аппарат 75 (100 кВ) при токе 5 мА, что расширяет ее функциональные возможности. Достаточно объемная темновая камера позволяет контролировать объекты габаритами до 500х700х400 мм. Установка состоит из стойки, соединенной с пультом управления и монитором. Для ее размещения требуется не более 0,5 м². Предусмотрена возможность связи с компьютером и устройствами документирования различного типа.



Фото 12. Стационарная рентгенотелевизионная установка «ШМЕЛЬ-ТВС».

Весьма близкой по функциональным возможностям и техническим характеристикам изделию «ШМЕЛЬ-ТВС» является рентгенотелевизионная установка стационарного типа «ШЕРИФ», предлагаемая фирмой «НОВО». Установка имеет несколько меньшую по объему темновую камеру и рентгеновский излучатель напряжением 75 кВ. Максимальная плотность контролируемого объекта соответствует 40 мм Al эквивалента.

Анализ состояния отечественных разработок флуороскопических систем контроля, который, по мнению автора, ни в коем случае не может претендовать на абсолютную полноту, показывает, что потребность в таких системах спецслужб, правоохранительных органов, служб безопасности и других потребителей может быть в полной мере удовлетворена современными отечественными разработками.

Не является секретом, что в развитых странах приоритет в обеспечении спецслужб техническими средствами принадлежит отечественным производителям. Такой подход выгоден как с государственно-политической, так и с экономической точки зрения, стимулирует расширение и углубление работ в направлении создания новых, перспективных систем.

В заключение автор благодарит сотрудников и специалистов фирм ООО «Флэш Электроникс» и «НОВО» за любезно предоставленные технические материалы, участие в обсуждении, высказанные замечания и пожелания.