

Цифровые рентгенодиагностические системы. Часть II.

М.И. Зеликман

Первая часть лекции, опубликованная в предыдущем номере журнала, была посвящена вопросам формирования цифровых рентгеновских изображений, их регистрации и математической обработки. Во второй части коснемся вопросов, связанных с конструктивными и эксплуатационными особенностями цифровой рентгенодиагностической аппаратуры (РДА), предназначенной для различных клинических применений, а также с контролем ее параметров. Более полно и подробно представленные на страницах журнала материалы изложены в монографии [10].

1. Оборудование для цифровой медицинской рентгенодиагностики

В данном разделе будут рассмотрены особенности построения цифровой РДА, предназначенной для проведения исследований различных органов и систем человеческого организма. Следует учитывать, что по мере совершенствования оборудования для рентгенодиагностики развитие этой техники в последние десятилетия шло в направлении специализации – от универсальных систем на 3 рабочих места к аппаратам, предназначенным для проведения всего необходимого комплекса исследований тех или иных органов и систем [10, 11, 13]. Ввиду понятных ограничений ниже представлено лишь небольшое количество из огромного многообразия цифровых рентгеновских аппаратов, предназначенных для использования в различных клинических приложениях. При наличии конкурентоспособных разработок в каждом из классов оборудования приоритет в описании отдавался отечественным установкам. Более подробно с медикотехническими характеристиками и особенностями применения всего спектра оборудования

различных производителей можно познакомиться на их Интернет-сайтах [14].

1.1. Аппараты общего назначения

Аппараты данного типа предназначены для проведения исследований органов грудной полости, сердца и кровеносных сосудов, желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), органов мочеполовой системы, костно-суставной системы и черепа. В рамках этих исследований используются режимы рентгенографии и рентгенокоспии.

Переход от традиционных (плёночных) на цифровые технологии с наименьшими изменениями в составе оборудования возможен при использовании систем с фотостимулируемым люминофором. При этом необходимо доукомплектовать отделение лучевой диагностики, оснащенное традиционным РДА общего назначения, набором кассет с запоминающими экранами, устройством считывания и оцифровки информации, в состав которого, как правило, входит станция (блок) маркировки кассет перед проведением исследования (с целью последующей идентификации), а также рабочая станция с соответствующим программным обеспечением (ПО), предназначенная для формирования изображения, его математической обработки и сохранения в памяти компьютера результатов исследований и сопутствующей информации [12].

Основными производителями оборудования рассматриваемого типа являются компании Agfa, Fujifilm, Kodak и входящая в эту группу компаний OREX Computed Radiography, Konica Minolta. Наиболее востребованными в клинической практике, как и в случае традиционной плёночной рентгенографии, оказываются кассеты с экранами сле-

дующих размеров: 18 x 24, 24 x 30, 35 x 35 и 35 x 43 см.

Процесс проведения рентгенографического исследования при использовании кассет с запоминающими экранами сводится к следующему. После завершения экспонирования в рентгеновском аппарате кассета маркируется на идентификационной станции, где данные о пациенте и данные исследования переносятся в память кассеты. Начиная с этого момента, данные пациента связаны с изображением. Выбор типа исследования задает параметры процесса обработки изображения, ориентацию кассеты и формат изображений. Затем кассета вводится в устройство считывания и оцифровки информации, и дальнейший процесс осуществляется без вмешательства оператора. По окончании этого процесса оцифрованная информация передается в рабочую станцию, где формируется изображение, которое в дальнейшем может быть подвергнуто математической обработке и сохранено в архиве. При необходимости может быть изготовлена твердая копия с использованием лазерных мультимедийных камер, термографических или специализированных струйных принтеров.

Что касается просвечивания, то для формирования цифровых массивов данных в этом случае осуществляют оцифровку сигнала на выходе телевизионного тракта УРИ, на базе которого формируется первое рабочее место РДА общего назначения (поворотный стол-штатив) и дооснащают это рабочее место соответствующей рабочей станцией.

Универсальная система для рентгенографии, предполагающая съемку при положениях пациента лежа, стоя, сидя, на базе детектора, содержащего люминесцентный экран, светосильную оптику и ПЗС-матрицу, была разработана компанией Swissray. Система ddR Combi™ Plus, в которой излучатель закреплен сверху над столом-штативом (потолочное крепление) и телеуправляемо (либо вручную) перемещается в пространстве кабинета, а приемник, также имеющий соответствующее количество степеней свободы при перемещениях, позволяет проводить практически все рентгенографические рутинные исследования, в том числе и в косых проекциях. Минимальное время между экспозициями в рассматриваемой установке – 2 с, что значительно ускоряет процедуру при необходимости получения ряда снимков.

В качестве примера цифрового РДА общего назначения на базе УРИ может быть представ-

лен телеуправляемый комплекс “ОКО КРТ” санкт-петербургской НИПК “Электрон”. В комплексе реализованы следующие основные режимы исследования: непрерывная рентгеноскопия; импульсная рентгеноскопия (пульс-флюоро) – 1–30 кадр./с; ангиография – 1–30 кадр./с и цифровая рентгенография. В состав комплекса входят: полипозиционный стол-штатив, оборудованный электроприводами всех перемещений с дистанционным управлением; УРИ с телевизионной системой и видеомонитором; АРМ врача-рентгенолога; среднечастотное рентгеновское питающее устройство; двухфокусный рентгеновский излучатель; универсальный пульт управления. Базовая конфигурация укомплектовывается УРИ диаметром 30,5 см (12”) с возможностью использования рабочих полей 29/21,5/15 см, в качестве опции может поставляться УРИ диаметром 40,6 см (16”). В режиме рентгеноскопии используется телевизионная система высокой четкости с разложением на 1000 строк. (Так что в строгом смысле в цифровом виде в системе “ОКО КРТ” реализуется только режим рентгенографии.)

Аналогичные системы разработаны и другими российскими предприятиями. Это, например, системы “КРДЦ-Т20/Т2000 РЕНЕКС” (компания “Гелпик”) и “ТЕЛЕМЕДИКС-Р-АМИКО” (ЗАО “Амико”).

Ряд компаний предлагают комплексные решения, когда весь объем рентгенографических исследований производится при использовании оборудования, основой приемной системы которого служат панели на базе аморфного кремния. Компания Siemens, например, поставляет на рынок универсальные рентгенографические системы AXIOM Aristos FX. Излучатель и приемник рентгеновского изображения, которые крепятся на отдельных потолочных подвесках, а также рентгенопрозрачный стол с регулируемой высотой делают этот комплекс пригодным для съемки пациентов в вертикальном и горизонтальном положениях и в положении сидя. В состав приемника входит плоская панель на базе аморфного кремния размером 43 x 43 см, которая содержит 3000 x 3000 приемных элементов (размер пиксела 143 мкм). В последние годы плоские панели на основе аморфного кремния стали использовать и в режиме рентгеноскопии.

Помимо описанных систем с плоскими панелями на основе аморфного кремния, для задач общей рентгенографии также используют комплексы, основу приемных систем которых

составляют плоские панели на базе аморфного селена. В качестве примера подобного решения можно представить разработку компании Kodak KODAK DIRECTVIEW DR 7100. Этот комплекс строится по модульному типу (потолочное крепление излучателя с возможностью перемещения в пространстве) и 2 рабочих места – стойка и поворотный стол-штатив, расположение которых определяется размерами и планировкой помещения. На данной установке проводят рентгенографические исследования при всех возможных положениях пациента (стоя, лежа, сидя) в различных проекциях. Детектор имеет размеры 35 x 43 см, размер приемного элемента – 139 мкм.

Комплекс для общей рентгенографии в положениях пациента лежа, стоя, сидя, в котором в качестве приемника рентгеновского изображения используется сканирующая система с линейкой твердотельных детекторов, разработан и поставляется на рынок медицинского оборудования белорусским унитарным предприятием “АДАНИ”.

1.2. Передвижные и рентгенохирургические установки

Передвижные аппараты используются, как правило, для проведения исследований вне стен рентгенологического отделения ЛПУ: в палатах, приемных, реанимационных, операционных, травматологических отделениях и т. д. [10, 13]. Эти установки предназначены для проведения рентгенографических и рентгеноскопических исследований.

Достаточно условно данный класс оборудования может быть разделен на 2 большие группы – это так называемые хирургические аппараты и палатные аппараты. Хирургические аппараты в большей степени ориентированы на проведение рентгеноскопических исследований (хотя, естественно, позволяют проводить и съемку), в то время как палатные используются для рентгенографии.

Наиболее широкое распространение в современных условиях получила конструкция штатива для передвижных хирургических рентгеновских аппаратов, которая в литературе носит название “С-дуга” (англоязычный термин “С-arm”). В качестве цифрового приемника рентгеновского изображения, как правило, используется УРИ с оцифровкой сигнала на выходе ПЗС-матрицы, входящей в состав тракта визуализации усилителя. Данное решение является достаточно универсальным

(выполнение рентгеноскопии и рентгенографии с использованием одного приемника) и позволяет применять аппарат в различных клинических приложениях. Основными зарубежными производителями цифровых рентгенодиагностических систем со штативами “С-дуга” являются компании Philips (семейство аппаратов BV), Siemens (линейка систем ARCADIS, аппарат SIREMOBIL Compact), Ziehm Imaging (линейка аппаратов Ziehm Vision, системы Ziehm Vista и Ziehm 7000 Mobile) и General Electric (семейство аппаратов ОЕС) [15]. Здесь перечислена лишь часть разработок представленных компаний. Эти установки, в которых обычно используются УРИ с диаметром входного поля от 23 до 40 см, ориентированы на проведение под рентгеновским контролем хирургических вмешательств при спинальной и других видах травм, урологических и нейрососудистых патологиях, диагностических исследований сердечно-сосудистой системы, включая, при необходимости, интервенционные вмешательства и т. д. Самые последние разработки систем на базе штативов “С-дуга”, оснащенные дополнительным двигателем для перемещения штатива в орбитальном направлении (угол перемещения составляет около 190°), а также специализированным ПО, позволяющим выполнить 3D-реконструкцию изображений, могут быть с успехом использованы и при КТ.

Относительно новым направлением в разработке систем со штативом “С-дуга” является создание так называемых мини-систем, предназначенных для использования при чрезвычайных ситуациях, в спортивной и военно-полевой медицине. Лидерами в этом направлении стали компании Hologic (Premier Encore) и General Electric (ОЕС MiniView 6800). В этих системах, как правило, используется УРИ с размерами входных полей 10 (4”) и 15 см (6”). Они наиболее эффективны при проведении диагностики травм суставов и других видов травматических повреждений конечностей, а также при соответствующих хирургических вмешательствах, осуществляемых под рентгеновским контролем.

Среди российских производителей передвижных установок со штативом “С-дуга” можно отметить ЗАО “Амико” и НИПК “Электрон”.

Рассмотрим особенности другой группы передвижных аппаратов – цифровых палатных установок. Эти системы, основой которых является рентгеновское питающее устройство

с излучателем, а для регистрации изображения могут использоваться плоские приемники различных типов, предназначены для рентгенографических исследований. Традиционно, в качестве приемников, использовались кассеты с рентгеновской пленкой, а нас, естественно, будут интересовать их цифровые аналоги.

Наиболее простое и эволюционное решение — использование традиционных палатных аппаратов (в качестве частных примеров можно назвать “МобиРен-МТ”, который на отечественный рынок поставляют компании “Медицинские технологии Лтд” и “Гелпик”, а также аппарат “10Л6”, поставляемый ЗАО “Амико”) и систем на базе фотостимулируемых люминофоров, то есть замена кассет с рентгеновской пленкой кассетами соответствующих типоразмеров с запоминающими экранами. Подобное решение представляется наиболее приемлемым для ЛПУ, в рентгенодиагностических отделениях которых уже используются системы CR, — в этом случае не потребуется вкладывать дополнительные средства в покупку устройства считывания и оцифровки информации с запоминающих экранов, а можно воспользоваться уже имеющимся в рентгенодиагностическом отделении. Однако данное решение имеет и недостатки, связанные, помимо необходимости дополнительной обработки экспонированных кассет с экранами, с невозможностью получения изображения по результатам рентгенографии прямо у кровати больного. Исключить названный недостаток удастся при использовании цифровых приемников (плоских панелей) на основе аморфного кремния либо аморфного селена.

Так, например, решение для палатного аппарата на базе полноформатной плоской панели (аморфный кремний) предложено компанией Siemens. Это передвижная установка Mobilett XP Digital. (Используемый в системе рентгеновский детектор имеет полезную площадь 35 x 43 см.)

1.3. Ангиографические комплексы

Этот класс оборудования предназначен для проведения исследований сердечно-сосудистой системы с использованием контрастных веществ, а также для осуществления контроля при интервенционных вмешательствах, связанных с установкой различных сосудистых протезов и имплантатов — стентов, катетеров, баллонов и т. д. Подобные аппараты устанавливаются, как правило, в условиях специализи-

рованных операционных, которые должны быть оснащены анестезиологическим и реанимационным оборудованием, а также комплектом средств индивидуальной и коллективной защиты пациентов и персонала [10, 13].

В составе установок для ангиографии в настоящее время наиболее часто используют аппараты со штативами типа “С-дуга”. В комплект также входят устройство для введения контрастного вещества в соответствии с заданной программой и аппаратура регистрации физиологических параметров организма. В качестве приемников рентгеновского изображения наибольшее распространение получили УРИ с оцифровкой сигналов на выходе входящей в состав телевизионного тракта ПЗС-матрицы. Но в последние годы в аппаратах данного типа все чаще применяются приемники на базе плоских панелей (аморфный кремний) размером до 25 x 25 см, а относительно недавно компании General Electric, Siemens и Philips представили ангиографические комплексы с приемниками, имеющими полезную поверхность порядка 30 x 40 и 40 x 40 см.

Необходимо также отметить, что огромное внимание при разработке ангиографических комплексов уделяется созданию специализированного ПО, роль которого в успешном проведении ангиографических процедур зачастую оказывается определяющей, по крайней мере не уступающей роли аппаратных средств.

1.4. Маммографические установки

Прежде чем начать рассматривать особенности цифрового оборудования для маммографии, необходимо сделать несколько оговорок терминологического характера. Зачастую производители называют цифровыми установки, в которых существует цифровой тракт, но он используется не для получения полноформатных цифровых изображений молочной железы, а для автоматизации процесса взятия биопсийной пробы с использованием специализированной приставки к традиционному (плёночному) маммографу. Существуют также поставляемые в качестве самостоятельного оборудования специализированные компьютеризированные установки для проведения стереотаксических исследований [10, 11, 13]. Нас же в первую очередь будет интересовать оборудование, при использовании которого удастся получить полноформатные цифровые изображения размерами 18 x 24 или 24 x 30 см

(англоязычное название метода исследований Full Field Digital Mammography).

В настоящее время для полноформатной цифровой маммографии используются установки с приемниками рентгеновского изображения 3 типов: на базе фотостимулируемых люминофоров, на базе плоских панелей (аморфный кремний и аморфный селен), а также с приемниками сканирующего типа.

Наиболее распространенный способ внедрения цифровых технологий в маммографию — использование систем с фотостимулируемыми люминофорами. В качестве примеров производителей кассет с запоминающими экранами для маммографии размерами 18 x 24 и 24 x 30 см и устройств считывания и оцифровки информации с этих кассет можно назвать компании Agfa, Fujifilm и Kodak.

Пионером в использовании цифровых приемников на базе плоских панелей (аморфный кремний) для задач маммографии стала компания General Electric, которая в 1999 г. начала поставлять на рынок медицинской техники установку Senographe 2000D с детектором размером 19 x 23 см.

Если компания General Electric акцент делает на разработке приемников на базе аморфного кремния, то Hologic основное внимание уделяет плоским детекторам на базе аморфного селена. Например, подобный приемник рентгеновского изображения используется в цифровой маммографической установке Selenia. Размер полезной поверхности рентгеновского приемника этой системы составляет 24 x 29 см. Преимущества детектора такого размера очевидны: в ряде стран приблизительно для 20–30% всех пациенток (имеются в виду женщины с большим размером молочной железы) при использовании плоских панелей размером 18 x 24 см приходится делать 2 снимка, что неудобно как с точки зрения дополнительных дозовых нагрузок на обследуемых, так и с точки зрения сложностей с интерпретацией врачом-рентгенологом полученных парциальных изображений. Также разработкой цифровых маммографических систем с приемниками на основе аморфного селена (18 x 24 и 24 x 30 см) занимается компания IMS (аппарат Giotto).

Компанией Fischer Imaging разработана маммографическая система с приемником рентгеновского изображения сканирующего типа SenoScan. Размер полноформатного снимка для скрининговых задач составляет 21 x 29 см, а для диагностических целей, в слу-

чае подозрений на патологические изменения по результатам профилактических обследований, — 11 x 15 см. Использование сканирующего принципа при формировании рентгеновского изображения (осуществляется синхронное перемещение приемника и веерообразного рентгеновского пучка вдоль дуги заданного радиуса в течение приблизительно 5 с) позволяет в значительной степени избежать рассеянного в наблюдаемом объекте излучения и заметно снизить дозовые нагрузки, так как проведение исследований на описываемой установке не требует наличия отсеивающих растров.

Как уже было указано выше, для задач взятия биопсийной пробы применяются приставки к маммографам, а также самостоятельные устройства для стереотаксиса. При их использовании получают изображения участка молочной железы размером порядка 50 x 50 мм или несколько больше, зафиксированные под различными углами. (При получении 2 подобных снимков говорят о наличии стереопары.) Эти снимки используют для определения положения в пространстве координат x, y, z области патологии, из которой необходимо взять пробу и, соответственно, вычисления координат введения биопсийной иглы. Как правило, в современных устройствах при автоматическом перемещении иглы удается реализовать ее наведение с ошибками, не превышающими ± 1 мм. В качестве примера цифровой системы, предназначенной для биопсии, можно рассмотреть установку Mammo Test компании Fischer Imaging.

Одно из современных направлений в цифровой маммографии — формирование объемных изображений областей молочной железы, по поводу которых у врача-рентгенолога имеются подозрения на наличие патологических изменений. Это так называемая послойная объемная реконструкция изображений. Одними из первых свое оборудование этой опцией начали оснащать специалисты General Electric.

1.5. Дентальные аппараты

В данном подразделе рассмотрим цифровые установки, предназначенные для интраоральной рентгенографии, а также для формирования панорамных изображений.

Обычно дентальный цифровой аппарат для интраоральных исследований содержит укрепленный на специальном штативе (с на-

польным или настенным креплением) моноблок со среднечастотным преобразователем напряжения; АРМ для управления режимом съемки, регистрации изображений и их математической обработки (в ряде случаев для управления режимом съемки используется отдельный пульт управления); цифровой рентгеновский приемник. Основное отличие от традиционных аппаратов – наличие цифрового приемника и АРМ.

В качестве примера аппаратов данного типа можно рассмотреть поставляемые на отечественный рынок медицинского оборудования компанией “Амико” комплексы серии “Денталикс” (“Денталикс CCD78-USB”, “Денталикс AT71-USB” и “Денталикс CCD38-USB”).

Эти цифровые дентальные рентгенографические комплексы оснащены АРМ со специализированным программным обеспечением “Визидент” для регистрации изображений, их математической обработки и хранения.

Цифровые рентгеновские приемники (или, как их часто называют, цифровые датчики) для интраоральных исследований помещаются в специальные рентгенопрозрачные контейнеры, снабженные держателями для обеспечения фиксации в ротовой полости. В гигиенических целях при проведении исследований на эти контейнеры надевают защитные чехлы одноразового использования. Среди зарубежных производителей подобных приемников рентгеновского изображения можно назвать, например, компании Kodak, Gendex, General Electric, Sirona, Schick Technologies. В качестве датчиков используются покрытые слоем сцинтиллятора ПЗС-матрицы. Дополнительно отметим, что последняя из перечисленных зарубежных компаний производит в том числе и датчики, для которых не требуется соединительного кабеля. Информация с рентгеновских приемников этого типа после считывания передается во входящий в состав АРМ компьютер на радиочастоте.

В настоящее время в системах для интраоральной цифровой рентгенографии находят также применение приемники на основе фотостимулируемых люминофоров. В качестве примера можно рассмотреть датчики компании Gendex, которые имеют размеры: 22 x 35, 24 x 40, 31 x 41, 27 x 54 и 57 x 76 мм.

Примером цифровых комплексов, применяемых для панорамной съемки зубочелюстной системы, а также для кефалометрии, необходимой при планировании соответствующих хирургических вмешательств, может служить семейство установок ORTHOPHOS

компании Sirona. Эта компания первой в 1996 г. начала производство ортопантомографов и кефалометрических систем, в которых использовались цифровые приемники рентгеновского изображения на основе покрытых слоем сцинтиллятора ПЗС-матриц. При осуществлении цифровой кефалометрической рентгенографии в установках ORTHOPHOS Plus Serph используется сканирующий метод получения изображения, что позволяет в значительной степени исключить рассеянное в объекте исследования излучение и дополнительно снизить дозовые нагрузки на обследуемых. Эта система является универсальной – ее используют не только для кефалометрии, но и в качестве ортопантомографа. Ортопантомографы и системы для кефалометрии с приемниками на основе ПЗС-матриц выпускаются еще рядом компаний, например Schick Technologies, General Electric, Kodak.

Упомянутая уже компания Soredex выпускает установки для панорамной съемки и кефалометрии, в которых в качестве приемников рентгеновского изображения используются запоминающие экраны размером 15 x 30 (для панорамной съемки) и 18 x 24 см, а также 24 x 30 см (для задач кефалометрии).

1.6. Цифровые комплексы для массовых профилактических обследований органов грудной полости

При техническом переоснащении службы массовых профилактических рентгенологических обследований органов грудной полости особенно важна замена устаревших пленочных флюорографов на относительно недорогие цифровые рентгенографические устройства. Эти устройства позволят значительно снизить дозовые нагрузки на обследуемых, заметно повысить информативность исследований и уменьшить стоимость отдельного исследования.

Основные медико-технические требования, которые предъявляют к комплексам, предназначенным для массовых профилактических исследований органов грудной полости, должны обеспечить выполнение следующих базовых положений:

- высокое диагностическое качество изображений;
- низкие дозовые нагрузки на обследуемых и персонал ЛПУ;
- высокая производительность;
- простота и удобство в управлении;

- высокая надежность в эксплуатации;
- низкий уровень затрат в пересчете на одно исследование.

Этим требованиям отвечают разработанные и производимые в нашей стране малодозовые цифровые флюорографы. С учетом конструктивных особенностей, связанных в первую очередь с типом приемника рентгеновского изображения, их относят к одной из следующих групп:

- сканирующие системы с газовыми ионизационными камерами;
- сканирующие системы с линейкой полупроводниковых детекторов;
- системы, тракт приема–преобразования которых построен на основе комбинации “сцинтилляционный экран – светосильная оптика – ПЗС-матрица”;
- системы на основе УРИ.

Комплексы для цифровой флюорографии производят в следующих вариантах: стационарные, передвижные (на шасси автомобилей различных марок) и переносные (разборные).

Рассмотрим модели цифровых флюорографических комплексов, наиболее широко поставляемые в ЛПУ Российской Федерации.

1.6.1. Стационарные флюорографы

Сканирующие системы с газовыми ионизационными камерами. Первенство в разработке сканирующих систем для цифровой рентгенографии на основе газовых ионизационных камер в нашей стране принадлежит Институту ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (ИЯФ СО РАН, Новосибирск). Именно там была разработана и изготовлена малодозовая цифровая рентгенографическая установка (МЦРУ) “Сибирь-Н” на основе многопроволочной пропорциональной камеры. Позднее серийное производство МЦРУ “Сибирь-Н” было освоено на ЗАО “Научприбор” (г. Орел), а также еще на 2 российских предприятиях.

В настоящее время ЗАО “Научприбор” выпускает комплекс для профилактических исследований грудной полости на основе также разработанной в ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН многоканальной ионизационной камеры. Назван комплекс ФМЦ-НП-О “Взгляд Орла”.

Использование многоканальной ионизационной камеры позволило заметно улучшить характеристики комплекса. Установку ФМЦ-НП-О “Взгляд Орла” производят в 2 исполнениях (с камерой, содержащей 1024 канала, и с 2048-канальной камерой).

Сканирующие системы с линейкой полупроводниковых детекторов. В последние годы в клинической практике медицинских учреждений нашей стране были опробованы несколько моделей сканирующих малодозовых цифровых флюорографов на базе линеек полупроводниковых детекторов.

В ряде разработок цифровых сканирующих систем с полупроводниковыми линейками детекторов сканирование плоским веерообразным пучком осуществляется не путем вертикального или горизонтального перемещения излучателя, а за счет поворота излучателя с диафрагмой на определенный угол. Этот поворот обеспечивает получение изображения в плоскости детектора с размером приблизительно 400 x 400 мм при синхронном движении детектора вдоль горизонтальной (или вертикальной) оси. Аналогичный принцип сканирования, но без перемещения излучателя, принят и в выпускаемых компанией “Рентгенпром” (г. Истра Московской области) малодозовом цифровом сканирующем флюорографе “ПроСкан-2000” и модификации этой разработки “ПроСкан-7000”. Для регистрации рентгеновского потока, прошедшего через исследуемую область тела пациента, в этих комплексах используют кремниевый линейный детектор, имеющий длину 400 мм (“ПроСкан-2000”) и около 550 мм (“ПроСкан-7000”). Его перемещают вдоль грудной клетки в горизонтальном направлении одновременно с веерообразным рентгеновским пучком, формируемым шелевой диафрагмой. Для этого детектор и шелевую диафрагму закрепляют на штанге, которая совершает вращательное движение вокруг фокусного пятна излучателя. В движение штангу приводит микрошаговый двигатель.

Установки, тракт приема–преобразования которых построен на основе комбинации “сцинтилляционный экран – светосильная оптика – ПЗС-матрица”. Первый российский цифровой комплекс для массовых профилактических исследований органов грудной полости, тракт формирования изображения которого построен на основе комбинации “сцинтилляционный экран – светосильная оптика – ПЗС-матрица”, был разработан компанией “Гелпик” (г. Москва).

Аппарат конструктивно выполнен в виде 2 отдельных стоек, позволяющих осуществлять синхронное перемещение по вертикали приемника и излучателя. Внутри стоек размещаются все основные узлы системы (источник и приемник излучения, рентгеновское питаю-

шее устройство, узел управления перемещением стоек). В конструкции приемника установки “Ренекс-Флюоро” использован чувствительный флюоресцентный экран на основе окиси сульфида гадолиния, светосильная оптика и охлаждаемая ПЗС-матрица. Модификацию данного цифрового комплекса производит ЗАО “ММЗ Вымпел” (г. Москва). Еще один крупный поставщик на отечественный рынок медицинского оборудования цифровых флюорографов с приемниками рентгеновского изображения, построенными на базе комбинации “сцинтилляционный экран – светосильная оптика – ПЗС-матрица”, – НИПК “Электрон” (г. Санкт-Петербург). Этой компанией разработан комплекс “ФЦ ОКО”.

Флюорографическое оборудование с приемниками рассматриваемого типа выпускают еще некоторые компании, например ЗАО “Амико”, однако доля установленных ими стационарных цифровых систем невелика.

Установки на основе УРИ. Цифровой флюорограф на базе УРИ был разработан российско-французским предприятием “СпектрАп” совместно с компанией “ТАНА”. Эта система получила название “ФСЦ-У-01”. Принцип действия рассматриваемой цифровой установки основан на получении в импульсном режиме излучения при использовании УРИ 4 парциальных изображений грудной полости, которые в дальнейшем объединяют (“сшивают”) с помощью соответствующего программного обеспечения. После объединения формируется полноформатное изображение.

Парциальные изображения получают путем последовательного механического перемещения УРИ с размером рабочего поля порядка 23 см по 4 квадрантам в плоскости приемника рентгеновского изображения. Весь процесс съемки занимает около 5–6 с.

Более усовершенствованной моделью системы “ФСЦ-У-01” стал комплекс “АМЦР-1”.

1.6.2. Передвижные комплексы для цифровой флюорографии

В настоящее время на рынок медицинского оборудования ряд российских компаний поставляют цифровые передвижные флюорографические комплексы на базе шасси автомобилей различных марок. Так, компанией “Рентгенпром” разработан передвижной цифровой флюорографический кабинет КФПЦ на базе шасси ЗИЛ-5301ЕО “Бычок” и вездехода КамАЗ-43114. Выбор этих типов шасси опреде-

ляется различной географией использования комплексов: ЗИЛ-5301ЕО “Бычок” предназначен для работы в городских условиях и на дорогах с грунтовым покрытием, а вездеход КамАЗ-43114 — в условиях плохих дорог. В качестве флюорографической установки в этих комплексах используют системы “ПроСкан2000” или “ПроСкан-7000”.

Передвижные комплексы “АФФ МЕДИКАР” для цифровой флюорографии на базе шасси КамАЗ-43114 и КамАЗ-53215 производит ЗАО “ММЗ Вымпел”. В качестве цифровой флюорографической системы в этих разработках используют аппарат “Ренекс-Флюоро”.

Завод медицинского оборудования “Тандем” (г. Буденновск) выпускает передвижной флюорографический кабинет “МК10-ФЦ”, представляющий собой цельнометаллический блок-контейнер, смонтированный на собственной трехосной ходовой части автомобильного прицепа. В качестве цифровой флюорографической установки в нем также используют систему “Ренекс-Флюоро”. Буксировка флюорографического кабинета возможна любым видом транспорта, оборудованного пневмоприводом.

1.6.3. Переносные комплексы для цифровой флюорографии

В отдаленных труднодоступных местностях, горных районах практически единственно возможный способ организации профилактических обследований — использование переносных флюорографических систем.

Переносной комплекс для цифровой флюорографии в ящичной укладке “ПроМатрикс-4000” (“АПЦФ-01”) производит ЗАО “Рентгенпром”. Основой комплекса служит цифровая рентгеновская камера “ФЕНИКС-4000” на базе ПЗС-матрицы. Систему транспортируют в разобранном виде в футлярах, которые служат элементами ее конструкции. Масса одного места не более 80 кг, количество мест для базовой комплектации — 6. Установку можно перевозить на любом виде транспорта, ее монтируют 2 человека в течение часа.

2. Особенности контроля характеристик цифровых рентгенодиагностических систем

Наличие в настоящее время в российской службе лучевой диагностики значительного парка цифрового рентгенодиагностического

оборудования (более 2,5 тыс. единиц) требует создания системы контроля основных характеристик цифровых комплексов как в процессе их эксплуатации, так и на этапах заводских и приемочных технических испытаний. В первую очередь это касается характеристик приемников-преобразователей, которые в значительной степени определяют качество формируемого в системе изображения.

2.1. Контроль пространственной разрешающей способности, контрастной чувствительности, характеристики “деталь–контраст”, динамического диапазона, геометрических искажений (дисторсии)

Исторически сложилось так, что используемые для контроля цифровых систем методики базировались на методах контроля характеристик усилителей рентгеновского изображения, представленных в ГОСТ 26141–84 [1], а также в ряде гармонизированных стандартов МЭК, в которых определены методы контроля отдельных характеристик электронно-оптических усилителей рентгеновского изображения [2–8]. В НПЦ медицинской радиологии Департамента здравоохранения Москвы в кооперации с ЗАО “Амико” был разработан комплект фантомов для контроля характеристик рентгенофлюорографических цифровых систем КФРЦ. Данный комплект фантомов предназначен для проверки, настройки и периодического контроля цифровых устройств визуализации рентгеновского изображения в условиях рентгенодиагностического отделения [11].

В состав КФРЦ входят:

- фантом для контроля динамического диапазона ТДД;
- фантом для контроля геометрических искажений ТГН;
- фантом для контроля пространственного разрешения ТПР;
- фантом для контроля контрастной чувствительности ТКЧ;
- фантом для контроля характеристики “деталь–контраст” ТДК.

Необходимо отметить, что использование представленных средств контроля не подразумевает учета специфики цифровых систем. Единственное существенное отличие при проведении подобных испытаний по отношению к проверкам традиционных систем сводится к тому, что осуществляются экспертные оценки изображений соответствующих тест-объек-

тов, зарегистрированных не на рентгеновскую пленку (либо отображаемых на экране видеоконтрольного устройства на выходе аналогового телевизионного тракта УРИ), а отображаемых на экране монитора, входящего в состав рабочей станции и предварительно зарегистрированных в ее памяти.

Еще одно отличие сводится к тому, что, к примеру, при контроле геометрических искажений, повышения точности измерений можно добиться при использовании стандартной функции математической обработки изображений (она реализуется математическим обеспечением всех цифровых рентгенодиагностических аппаратов), связанной с измерением длины отрезка, ограниченного 2 наперед заданными точками. При этом не имеет значения, какие единицы измерения используются – это могут быть (наряду с традиционно используемыми миллиметрами и сантиметрами) и условные единицы, пропорциональные количеству размеров пикселя, укладываемых в измеряемом отрезке.

2.2. Контроль неравномерности распределения яркости в поле изображения

Оценка данной характеристики при контроле цифровых рентгенодиагностических систем может осуществляться экспериментально-расчетным путем с использованием методики, аналогичной той, что применяется для контроля неравномерности распределения яркости на выходном экране УРИ.

Специфика измерений заключается в том, что после регистрации изображения “чистого поля” при заданном значении дозы в плоскости детектора, при использовании математического обеспечения в середине изображения задают область размером примерно 10 x 10 мм и оценивают среднее значение яркости пикселей в этой области. Аналогично получают оценки средней яркости пикселей в областях, расположенных ближе к краю зарегистрированного изображения. Затем с использованием известных формул оценивают неравномерность распределения яркости [1, 4].

2.3. Контроль отношения сигнал/шум и квантовой эффективности регистрации

Отношение сигнал/шум на выходе цифровой рентгенопреобразующей системы оценивают при использовании специализированного математического обеспечения. Методы

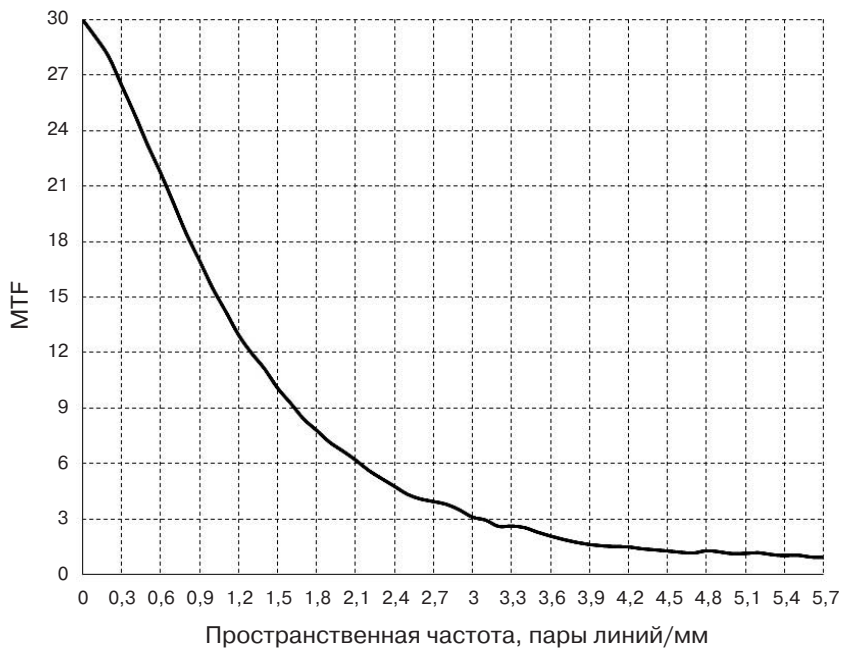


Рис. 1. Функция передачи модуляции.

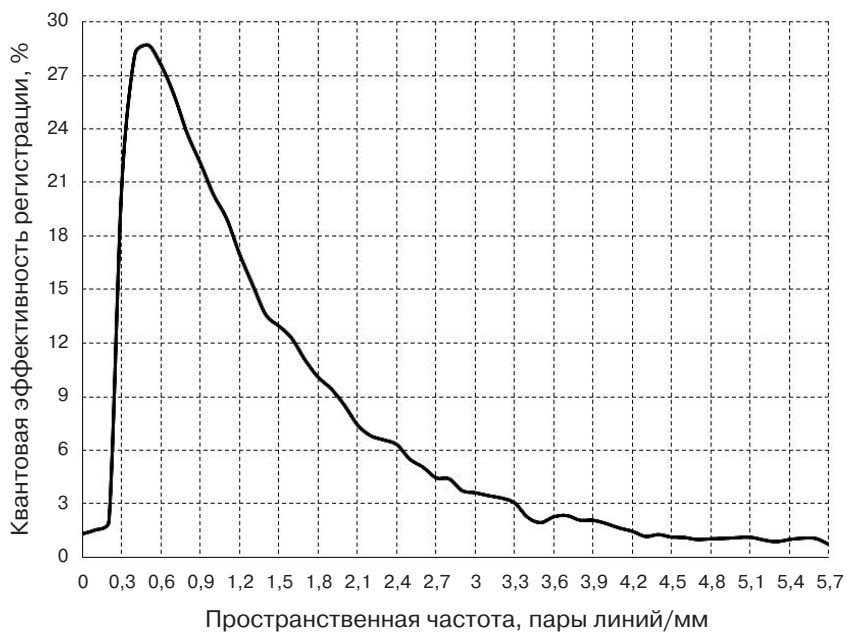


Рис. 2. Зависимость квантовой эффективности регистрации от пространственной частоты.

контроля данной характеристики сводятся к оценке среднего уровня сигнала яркости и среднеквадратического отклонения сигнала яркости (характеризующего разброс яркостей) в выбранной области зарегистрированного в системе изображения “чистого поля” и определения их отношения.

Как правило, в цифровых рентгеновских приемниках принимаются специальные меры по компенсации составляющей сигнала яркости, возникающей при отсутствии рентгеновского излучения (обычно вызываемой так называемыми “темновыми токами”). Если в штатном программном обеспечении подобная функция отсутствует, необходимо оценить постоянную составляющую (среднее значение) сигнала яркости при отсутствии рентгеновского излучения и сделать соответствующую поправку при расчете среднего уровня яркости. Отметим, что при оценке среднеквадратического отклонения наличие постоянной составляющей никак не сказывается на результатах расчетов.

Квантовая эффективность регистрации, и в особенности ее зависимость от пространственных частот, является обобщенной характеристикой качества формирования цифрового рентгеновского изображения [10]. Эта характеристика не исчерпывает всего многообразия параметров, описывающих качество формирования изображений в цифровых рентгенопреобразующих системах, однако позволяет проанализировать целый ряд из них, например: оценить уровень дозы в плоскости детектора, необходимый для формирования изображения заданного качества; оценить реализуемые в системе пространственное разрешение; выходное отношение сигнал/шум; контрастную чувствительность; частотно-контрастную характеристику – функцию передачи модуляции.

Методы контроля зависимости квантовой эффективности от пространственных частот сложны и требуют специальных лабораторных условий для проведения экспериментов и наличия специализированного ПО [9, 10].

При этом оценка частотно-независимой квантовой эффективности регистрации, или как ее еще называют квантовой эффективностью регистрации в области нулевых пространственных частот, может быть осуществлена в условиях эксплуатации цифровой РДА в рентгенодиагностическом отделении (кабинете). Частотно-независимую квантовую эффективность рассчитывают с использованием

оценки выходного отношения сигнал/шум. Подробная методика оценки данного параметра представлена в [10].

На рис. 1, 2 в качестве примера представлены функция передачи модуляции – МТФ (зависимость передачи на выход рентгеновского приемника уровня контраста объекта от его линейных размеров, связанных обратной пропорциональностью с пространственной частотой) и зависимость квантовой эффективности регистрации от пространственной частоты для цифровой системы на базе фотостимулируемых люминофоров компании Konica Minolta.

Список литературы

1. ГОСТ 26141–84. Усилители рентгеновского изображения медицинских рентгеновских аппаратов. Общие технические требования, методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1984. 30 с.
2. ГОСТ Р МЭК 61262.1–99 (МЭК 61262–1–94). Изделия медицинские электрические. Характеристики электронно-оптических усилителей рентгеновского изображения. Ч. 1. Определение размера входного поля. М.: Изд-во стандартов, 2000. 11 с.
3. ГОСТ Р 51530–99 (МЭК 61262–2–94). Изделия медицинские электрические. Характеристики электронно-оптических усилителей рентгеновского изображения. Ч. 2. Определение конверсионного фактора (коэффициента преобразования). М.: Изд-во стандартов, 2000. 12 с.
4. ГОСТ Р МЭК 61262.3–99 (МЭК 61262–3–94). Изделия медицинские электрические. Характеристики электронно-оптических усилителей рентгеновского изображения. Ч. 3. Определение распределения и неравномерности яркости. М.: Изд-во стандартов, 2000. 11 с.
5. ГОСТ Р 51531–99 (МЭК 61262–4–94). Изделия медицинские электрические. Характеристики электронно-оптических усилителей рентгеновского изображения. Ч. 4. Определение дисторсии изображения. М.: Изд-во стандартов, 2000. 11 с.
6. ГОСТ Р МЭК 61262.5–99 (МЭК 61262–5–94). Изделия медицинские электрические. Характеристики электронно-оптических усилителей рентгеновского изображения. Ч. 5. Определение квантовой эффективности регистрации. М.: Изд-во стандартов, 2000. 16 с.
7. ГОСТ Р МЭК 61262.6–99 (МЭК 61262–6–94). Изделия медицинские электрические. Характеристики электронно-оптических усилителей рентгеновского изображения. Ч. 6. Определение коэффициента контрастности и коэффициента световой вуали. М.: Изд-во стандартов, 2000. 12 с.
8. ГОСТ Р МЭК 61262.7–99 (МЭК 61262–7–94). Изделия медицинские электрические. Характеристики электронно-оптических усилителей рентгеновского изображения. Ч. 7. Определение функции передачи модуляции. М.: Изд-во стандартов, 2000. 16 с.
9. ГОСТ Р МЭК 62220-1-2006. Изделия медицинские электрические. Характеристики цифровых приемников рентгеновского изображения. Ч. 1. Определение квантовой эффективности регистрации.

10. Зеликман М.И. Цифровые системы в медицинской рентгенодиагностике. М.: Медицина, 2007. 208 с.
11. Основы рентгенодиагностической техники: Учебное пособие / Под ред. Н.Н. Блинова. М.: Медицина, 2002, 392 с.
12. *Портной Л.М., Степанова Е.А.* CR-система цифровой рентгенографии в практическом здравоохранении. Организационно-методические и диагностические аспекты. М.: Академкнига, 2006. 198 с.
13. Рентгеновские диагностические аппараты. В 2-х т. / Под ред. Н.Н. Блинова, Б.И. Леонова. М.: ВНИИМТ, НПО "Экран", 2001.
14. Электронные адреса Интернет-сайтов упоминаемых в тексте отечественных и зарубежных производителей цифровой рентгенодиагностической техники:
www.adani.by – УП "Адани";
www.goentgen.ru – ЗАО "Амико";
www.helpic.ru – СП "Гелпик";
www.mtl.ru – ЗАО "Медицинские технологии Лтд";
www.nauchpribor.ru – ЗАО «Научприбор»;
www.goentgenprom.ru – ЗАО "Рентгенпром";
www.spectr-grupp.ru/spectrap.htm – ООО "СпектрАп";
www.elektron.ru – НИПК "Электрон";
www.agfa.com – "Agfa";
www.canon.com – "Canon";
www.fischerimaging.com – "Fischer Imaging";
www.fujifilm.com – "Fujifilm Medical Systems";
www.gehealthcare.com – "General Electric Healthcare";
www.gendex.com – "Gendex";
www.hologic.com – "Hologic";
www.imsitaly.com – "IMS";
www.kodak.com – "Kodak";
www.konicaminolta.com – "Konica Minolta";
www.orex-cr.com – "Orex Computed Radiography";
www.medical.philips.com/main – "Philips Medical Systems";
www.schicktech.com – "Schick Technologies";
www.medical.siemens.com – "Siemens Medical Solutions";
www.sirona.com – "Sirona";
www.soredex.com – "Soredex";
www.ziehm.com – "Ziehm Imaging".
15. *N. Lewis.* C-Arms: A Strong Arm // Medical Imaging. 2004.

НОВЫЕ КНИГИ

Аляев Ю.Г., Чалый М.Е., Синицын В.Е., Григорян В.А. Эходопплерография в урологии: Руководство для практикующих врачей. М.: Литтерра, 2007. 168 с.

Васильев А.Ю. Краткий атлас по цифровой рентгенографии: Учебное пособие. М., 2008. 88 с.

Васильев А.Ю., Ольхова Е.Б. Ультразвуковая диагностика в детской андрологии и гинекологии: Учебное пособие. М., 2008. 152 с.

Интервенционная радиология в онкологии (пути развития и технологии). Научно-практическое издание // Гл. редакторы А.М. Гранов, М.И. Давыдов. СПб: ООО "Издательство ФОЛИАНТ", 2007. 344 с.

Ковалев В.А. Анализ текстуры трехмерных медицинских изображений. Минск: Белорусская наука, 2008. 264 с.

Королюк И.П. Рентгеноанатомический атлас скелета (норма, варианты, ошибки интерпретации). 2-е изд., перераб. и доп. М.: Видар-М, 2008. 192 с.

Приходько А.Г. Лучевая диагностика и лучевая терапия в стоматологии. М.: Феникс, 2008. 101 с.

Приходько А.Г. Лучевая диагностика в кардиологии и пульмонологии. Лучевая терапия. М.: Феникс, 2008. 90 с.

Приходько А.Г. Методы лучевой диагностики: Лучевая диагностика в эндокринологии и онкологии. М.: Изд. Феникс, 2008. 124 с.

Кузнецова Л.В., Иова А.С., Гармашов А.Ю., Екоева Г.А. Спинальная ультрасонография. Петрозаводск.: Изд-во ПетрГУ, 2007. 109 с.

Шмырин А.Н. Ультразвуковая диагностика заболеваний толстой кишки: атлас. М.: Медпрактика-М, 2008. 47 с.