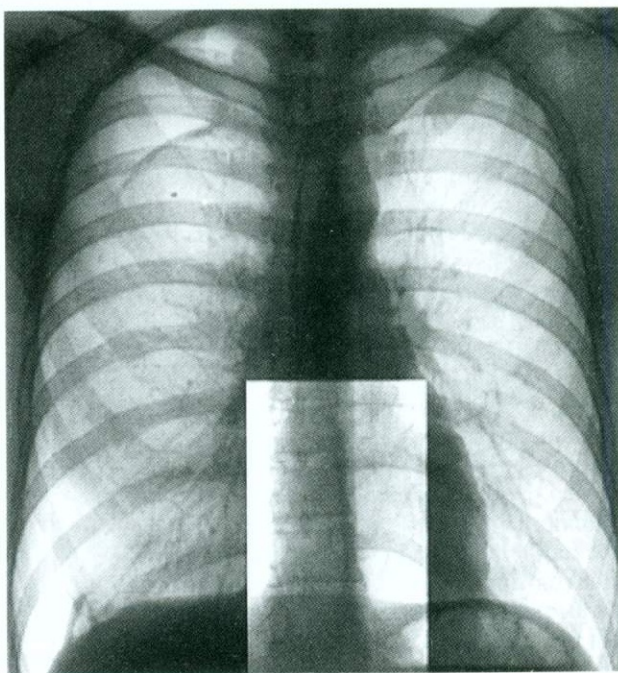


БЕЗОПАСНАЯ РЕНТГЕНОГРАФИЯ



Доктор технических наук С.Е. БАРУ,
заведующий лабораторией ГНЦ
Институт ядерной физики СО РАН

На собрании Вюрцбургского физико-математического общества 28 декабря 1895 г. ректор Вюрцбургского университета В.К. Рентген впервые сообщил о новом роде лучей, открытых им чуть раньше, а также о результатах исследования их свойств. Уже в 1896 г. лучи, получившие название рентгеновских, стали использовать в медицинской практике для диагностики заболеваний. И сейчас сотни тысяч таких

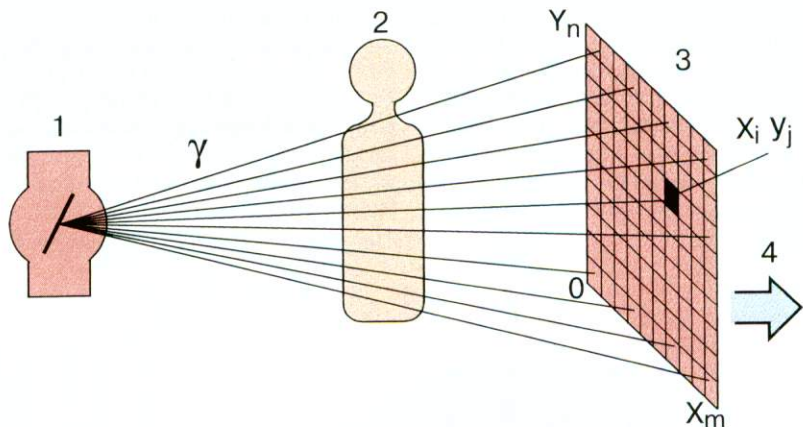
аппаратов работают в больницах и поликлиниках всего мира. Но принцип их действия за истекшее столетие практически не изменился: в них источником рентгеновского излучения (РИ) осталась специальная трубка, а приемником – пленка или флюоресцентный экран. К трубке особых претензий нет, да и альтернативы ей пока не найдено. Иное дело – приемник, или детектор РИ.

Рентгеновская пленка при всех достоинствах – высоком быстродействии и хорошем пространственном разрешении – имеет ряд существенных недостатков. Главные из них – низкая эффективность (что ведет к высоким дозам облучения пациентов), малый динамический диапазон измерений (это препятствует одновременному наблюдению на снимке мягких и плотных тканей), невозможность съемки на них в режиме непо-

Снимок легких с позвонками (виден правосторонний пневмоторакс).



Цифровая рентгенография с двумерным детектором:
 1 – рентгеновская трубка;
 2 – пациент;
 3 – детектор;
 4 – передача информации на ЭВМ.



средственной связи с компьютером и получения изображения сразу после обследования, т.к. требуется некоторое время на их химическую обработку. Вот почему в последние десятилетия предпринимались многочисленные попытки улучшить характеристики детекторов РИ, но они ограничивались в основном совершенствованием экранно-плёночных систем.

Существенный прорыв произошёл в начале 70-х годов. Появившаяся компьютерная томография (измерение распределения плотности тканей в слое-срезах тела) открыла новые методы получения и цифровой обработки рентгеновского изображения. Однако несмотря на все свои достоинства, она не вытеснила традиционную проекционную рентгенографию.

Принципиально новым и совершенным устройством можно считать ядерно-магнитно-резонансный томограф. Но он сложен и очень дорог, что препятствует широкому применению. Между тем значительные успехи в области математических методов работы с изображениями в компьютерной томографии способствовали развитию так называемой цифровой рентгенографии, когда изображение тем или иным способом “доставляли” в память компьютера для обработки, хранения и визуального наблюдения. При этом применяли “косвенные” методы получения изображения путем оцифровки (перевод аналогового сигнала в цифровой код)

рентгеновского снимка, телевизионного изображения или сигналов, полученных с рентгеновских электронно-оптических преобразователей. Однако перечисленные способы не устранили многие основные недостатки экранно-плёночных систем; к тому же при такой технологии неизбежна потеря части информации в процессе оцифровки.

Правда, качество цифрового изображения можно существенно улучшить, применяя метод прямой регистрации РИ с помощью детектора, работающего в режиме непосредственной связи с компьютером. Этот детектор, способный “поштучно” регистрировать рентгеновские кванты, представляет собой двумерную поверхность, разбитую на X_m -, Y_n -ячейки. Каждый “упавший” на нее квант приписывается к какой-то конкретной ячейке (X_i , Y_j) и суммируется с ранее накопленными ею квантами. Однако создать такой детектор необходимых для рентгенографии размеров (40×40 см), с достаточной эффективностью, быстродействием, хорошим пространственным разрешением, работающий на линии с компьютером, крайне трудно. К тому же при

двумерном детекторе нужно применять коллиматоры*, которые отсекают рассеянное в теле пациента РИ, ухудшая изображение.

Решение проблемы пришло неожиданно и из другой области – физики высоких энергий. Эта фундаментальная наука требует постоянного совершенствования детекторов, используемых для регистрации и исследования свойств элементарных частиц. Соответствующие методы ядерной физики развиваются в последние десятилетия весьма интенсивно – их и попробовали применить в медицине. В 1981 г. в Институте ядерной физики СО РАН решили использовать в рентгенографии многопрофильную пропорциональную камеру (МПК), созданную профессором Ж. Шарпаком (Швейцария) еще в 70-х годах (за эту работу он был удостоен Нобелевской премии в 1992 г.). Но ее пришлось модифицировать. С этой целью были применены линейная (однокоординатная) МПК, работа-

* Коллиматор – плотная пластинка с узкой щелью, через которую проходит излучение и формируется тонкий и плоский его пучок (прим. ред.).

ющая в режиме прямого счета квантов, и сканирующий способ получения изображения. Это несколько ограничило область использования метода, но обеспечило хорошие характеристики для большинства задач, решаемых медицинской рентгенографией.

Предложенная у нас малодозная цифровая рентгенографическая установка (МЦРУ) "Сибирь" включает стандартную рентгенографическую трубку с питающим ее высоковольтным источником тока, механическое сканирующее устройство, детектор РИ, систему регистрации и

управления. Распределение излучения в горизонтальном направлении измеряет камера, в вертикальном – механический сканер. Для этой цели рентгеновская трубка, щелевой коллиматор и камера во время съемки одновременно и равномерно перемещаются в вертикальном направлении. Коллиматор со щелью 0,5–2 мм формирует плоский веерообразный пучок РИ, который после прохождения через тело пациента попадает во входное окно камеры.

МПК установки представляет собой систему из трех проволочных плоскостей – двух катодных и анодной, расположенной между ними. На катоды подается отрицательное напряжение; анодные проволочки диаметром 10 мкм направлены на фокус рентгеновской трубки; к каждой из них подключен усилитель-дискриминатор. Камера помещена в объем, заполненный рабочим газом (80% ксенона и 20% углекислого газа) с давлением 3 атм. При поглощении рентгеновского кванта тяжелым атомом ксенона первичная ионизация дрейфует вдоль силовых линий электрического поля и ее компоненты попадают в область высокого напряжения вокруг тонкой анодной проволочки. Там происходит ударная ионизация, на проволочку наводится заряд, и срабатывает усилитель-дискриминатор. При этом коэффициент размножения электронов составляет несколько тысяч. Благодаря этому сигнал с анодной проволочки вполне достаточен для режима прямого счета квантов, хотя и составляет примерно 10^{-13} Кл. Тем не менее он превышает порог усилителя-дискриминатора только при регистрации кванта и не фиксирует фоновое излуче-

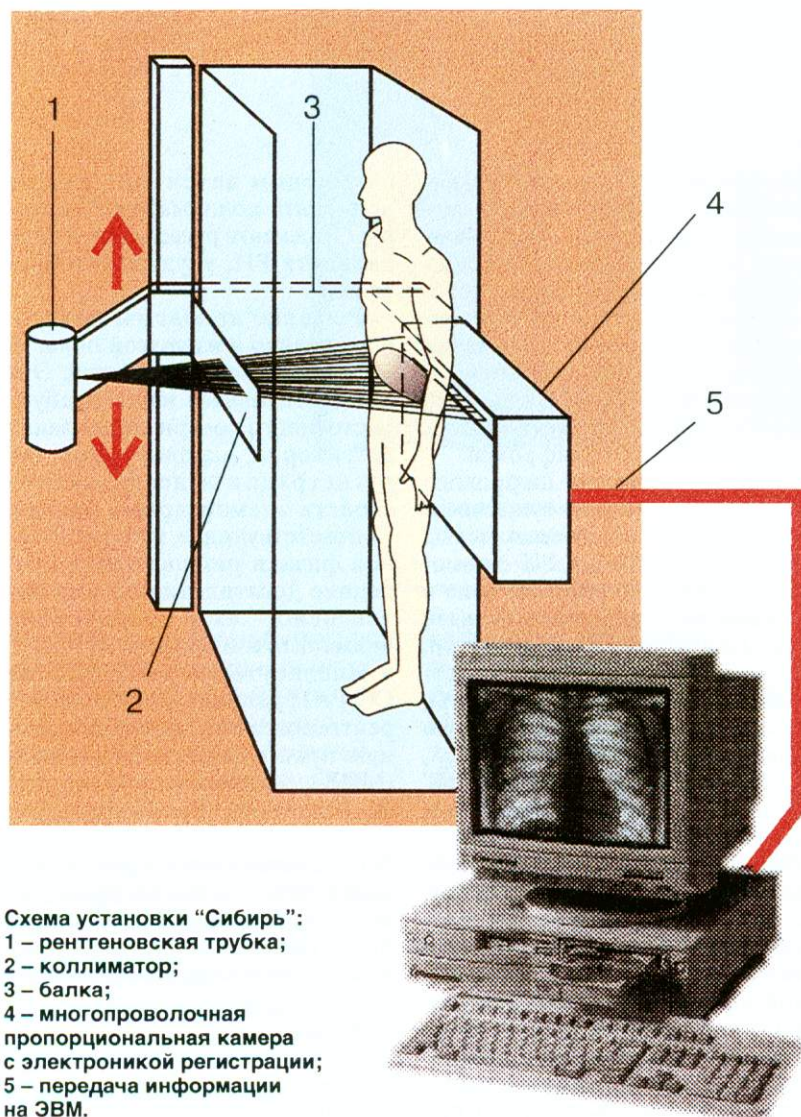
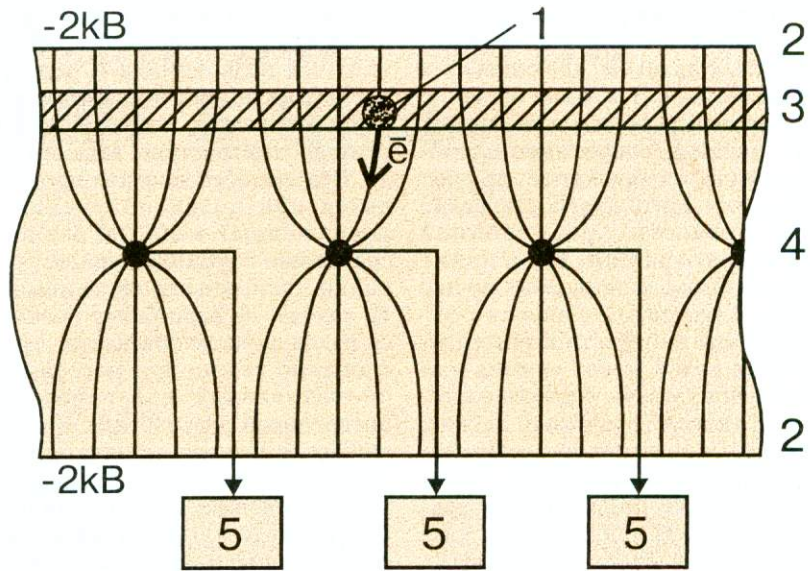


Схема установки "Сибирь":
1 – рентгеновская трубка;
2 – коллиматор;
3 – балка;
4 – многопроволочная пропорциональная камера с электроникой регистрации;
5 – передача информации на ЭВМ.



Структура камеры (вид детектора со стороны рентгеновской трубки):
 1 – точка конверсии кванта (первичная ионизация);
 2 – катод;
 3 – входное окно камеры;
 4 – анодные проволочки;
 5 – УД – усилитель-дискриминатор.



ние. Сигнал с анодной проволочки пропорционален величине первичной ионизации.

Электроника регистрации содержит 640 счетчиков импульсов, подключенных к дискриминаторам. Таким образом, камеру с описанной электроникой можно рассматривать как 640 независимых детекторов рентгеновских квантов с шириной канала 0,6 мм. Информация, накопленная в счетчиках за время экспозиции “строки” (т.е. за время, соответствующее перемещению сканера на 0,5 мм по вертикали), переписывается в память компьютера, после чего начинается регистрация следующей строки. По окончании съемки кадра в памяти накапливается цифровое изображение – матрица 640 на 640 чисел, описывающая распределение излучения после его прохождения через тело пациента. Нормированное изображение появляется на экране дисплея через 20 с по завершении сканирования.

Установка “Сибирь” обладает уникальными характеристиками: в каждый элемент матрицы записывается информация об исследуемой части органа пациента размером 0,5 × 0,5 мм. Площадь снимка в плоскости детектора 384 × 320 мм. Размер снимка по вертикали (320 мм) может быть как уменьшен, так и увеличен. Емкость каждого элемента составляет 65 536 зарегистрированных квантов, кон-

трастная чувствительность – 1%. Это значит: установка позволяет обнаружить в однородном потоке рентгена пластинку алюминия толщиной 0,1 мм. Ее динамический диапазон – 130, т.е. 5%-ное уменьшение интенсивности (0,5 мм Al) можно видеть в однородном прямом и в 130 раз ослабленном потоке рентгена. Поверхностная доза облучения пациента для получения рентгенограммы легких – 3–5 мР, что близко к недельной фоновой дозе. На жестком диске компьютера емкостью 1 Гбт может быть записано от 1000 до 4000 снимков.

Входное окно камеры, выполненное в виде щели 1–2 мм, практически исключает регистрацию излучения, рассеянного в теле пациента. Прямой счет квантов при нулевом фоне камеры и ее высокое быстродействие (около 600 кГц/канал) обеспечивают существенно более широкий, по сравнению с другими методами регистрации

РИ, динамический диапазон, т.е. позволяют врачу наблюдать на одном снимке ткани с низкой и высокой плотностью. Нулевой фон МПК и исключение при регистрации рассеянного излучения дало возможность получить высокую контрастную чувствительность, которая позволяет обнаружить малые отклонения плотности на снимке. Несмотря на большое время съемки кадра (примерно 8 с), снижения резкости изображения из-за небольших перемещений пациента не происходит, поскольку время экспозиции строки при сканировании составляет всего 12 мс.

Управление установкой “Сибирь” осуществляет компьютер. Его обеспечение включает в себя программы врача и лаборанта, базу данных рентгеновского кабинета, а также программу для автоматического контроля работоспособности установки. Программа лаборанта разрешает провести съемку нескольких кадров, просмотреть получен-

ные снимки на дисплее, записать их на диск, а также взаимодействовать с архивом, хранящимся в базе данных. В режиме обработки врач может вывести снимок на дисплей, оперативно преобразовать изображение, за счет чего улучшить диагностические возможности проекционной рентгенографии. Изменение контрастности позволяет лучше выделить патологические отклонения плотности в интересующем врача месте снимка или последовательно оценить состояние тканей (например, легких, сердца, позвоночника). Преобразовать изображение в вид, наиболее удобный для визуального анализа, обеспечивает также математическая обработка цифрового изображения (скажем, за счет подчеркивания контуров).

Установка "Сибирь" дает количественную диагностическую информацию – измерение расстояний между поражениями одного органа, размеров органов или патологических образований. Можно определить относительную плотность в любой точке снимка или среднюю плотность в произвольном его фрагменте. Программа врача содержит и некоторые сервисные программы – увеличение на экране размеров снимка, его инверсия, вывод на экран одновременно нескольких снимков (например, прямую и боковую проекции или снимки, сделанные в разное время). В случае необходимости врач может запустить специальные диагностические программы.

Словом, МЦРУ "Сибирь" предназначена для широкого круга рентгенологических обследований пациентов. К ним относится исследование органов грудной клетки, в том числе с

профилактической целью, опорно-двигательного аппарата, включая позвоночник и череп, предродовую диагностику, изучение бесплодия, использование рентгеноконтрастных веществ и др. Все эти обследования проводятся при дозах облучения, уменьшенных в 30–100 раз по сравнению с традиционными экранно-пленочными системами. И, значит, не надо более бояться радиационной опасности, что особенно важно при массовых обследованиях населения и предродовой диагностике, а при любых сомнениях назначать повторные обследования. Причем, по заключению медиков, диагностическая информативность снимков существенно выше, чем у полученных на обычном оборудовании. А гибкий дисплейный вывод с изменением условий наблюдения вместе с высокой контрастной чувствительностью, широким динамическим диапазоном и возможностью математической обработки изображения позволяют врачу обнаружить раннее проявление патологии. Компьютерный архив быстросоступен, пожаробезопасен и не требует специальных помещений. Возможна передача изображений по компьютерным и телефонным сетям для консультаций специалистов. К тому же рентгенолог может вести диагностический просмотр снимков на втором компьютере параллельно с процессом съемки.

Пропускная способность установки составляет 15–20 человек в час. Твердые копии снимков высокого качества могут быть получены с помощью термопринтера Alden 9315 СТР, имеющего 256 градаций серого оттенка. Экономия затрат при использовании МЦРУ "Сибирь" вместо экранно-пленочных рент-

геновских аппаратов за счет исключения фотопленки составляет примерно 15 тыс. долл. в год при средней загрузке – 20 пациентов в день.

Первая установка такого типа была запущена в Институте ядерной физики СО РАН в 1984 г. и тогда же передана Всесоюзному центру охраны здоровья матери и ребенка (Москва), а через 6 лет мы направили туда вторую – для горизонтального положения пациента. Затем система была модернизирована, и пять новых установок с приведенными выше параметрами были изготовлены в 1994–96 гг., которые ныне работают в клиниках Москвы, Новосибирска, Красноярска и Парижа.

В 1995 г. были проведены официальные медицинские испытания МЦРУ "Сибирь" в Центре сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН. Параллельно ее опробовали во Всероссийском научно-исследовательском и испытательном институте медицинской техники Минздрава РФ. Комитет по новой медицинской технике МЗ РФ рекомендовал установку к серийному производству и применению в медицинской практике. Производственное объединение "Научприбор" (г. Орел) уже готовит ее серийный выпуск.