

Таблица 3

Зависимость показаний индикатора от экспозиции (площадь 30 × 30 см, напряжение 70 кВ, 300 мАс, фильтр 3 мм А1)

Экспозиция, мАс	Показания, Р · см <sup>2</sup>	Отношение показаний к экспозиции
10	43	4,3
20	89	4,45
50	225	4,5
100	452	4,52
200	910	4,55
300	1365	4,55

гичным образом можно проконтролировать стабильность работы системы автоматического экспонирования.

Необходимость использования дополнительных фильтров при рентгенологических исследованиях, особенно при высоких напряжениях генерирования рентгеновского излучения, подтверждается данными табл. 4, полученными, как и ранее с применением 12-пульсной схемы выпрямления, при значениях пульсации 2—3%.

Данные табл. 4 показывают необходимость использования дополнительных фильтров при рентгенодиагностических исследованиях, особенно проводящихся при высоком анодном напряжении.

Прибор также дает наглядное представление о снижении дозовых нагрузок при увеличении расстояния от фокуса рентгеновской трубки до плоскости приемника излучения при условиях, что поперечные размеры рабочего пучка излучения в плоскости приемника остаются постоянными, а доза или мощность дозы в плоскости приемника излучения — неизменной.

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 1997

УДК 615.471.03:616-073.75

Е. А. Бабичев, С. Е. Бару, А. И. Волобуев, В. В. Гусев, Г. М. Колачев, Ю. А. Немков, В. А. Неустроев, Э. Л. Неханевич, В. В. Пороцев, Г. А. Савинов, В. А. Сидоров, Ю. Г. Украинцев, А. Г. Хабахпашев, Л. И. Шехтман, Ю. Б. Юрченко

### ЦИФРОВАЯ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

ГНЦ Института ядерной физики СО РАН, Новосибирск; Российский научно-исследовательский центр перинатологии, акушерства и гинекологии РАМН, Москва; Центральная клиническая больница СО РАН, Новосибирск

Физика высоких энергий требует постоянного совершенствования детекторов, которые используются в экспериментах для регистрации и исследования свойств элементарных частиц. Сегодня такие детекторы имеют десятки и сотни тысяч каналов регистрации и идентификации частиц и излучений. Экспериментальные методы ядерной физики, лежащие в основе проектирования детекторов, в последние десятилетия развиваются весьма интенсивно. Поэтому естественно было желание использовать разработанные методы для регистрации рентгеновского излучения в медицине, тем более что в течение 100 лет существования рентгенодиагностики для регистрации использовали почти исключительно фотопленку.

Таблица 4

Зависимость показаний прибора от анодного напряжения и наличия дополнительного фильтра (размер поля и экспозиция постоянные)

Анодное напряжение, кВ	Показания без фильтра	Показания с фильтром	Дополнительный фильтр, мм А1	Снижение дозы, %
	Р · см <sup>2</sup>			
50	68	60	0,5	12
70	183	144	1,0	21
80	240	182	1,5	24
100	316	244	2,0	22,7
125	598	417	3,0	30

Аналогичным образом можно оценить правильность установок анодного напряжения (в кВ) и их стабильность по времени, а тем самым и стабильность радиационного выхода излучателя при постоянном фильтре.

Таким образом, универсальный автономный прибор ИД-01 обеспечивает быстрое и удобное определение дозовой нагрузки на пациентов, при этом возможен автоматический учет суммарной нагрузки при разных видах исследования на различных рабочих местах одного аппарата. Прибор соответствует международным требованиям на приборы подобного назначения, снабжен двумя ионизационными камерами, имеет порт связи с компьютером и ориентирует персонал на использование менее лученагруженных методов и приемов рентгенологического исследования, а также позволяет оценивать стабильность основных функциональных параметров рентгенодиагностического аппарата.

Поступила 29.08.96

Успехи компьютерной томографии и значительные достижения в области математической обработки цифровых изображений способствовали развитию так называемой цифровой рентгенографии. Цифровая рентгенография может быть существенно улучшена, если косвенные пути получения цифрового изображения, связанные с оцифровкой рентгеновского снимка, телевизионного сигнала или сигнала, полученного с РЭОПа, заменить прямой регистрацией рентгеновского излучения с помощью детекторов, работающих в режиме прямой связи с ЭВМ.

Наиболее подходящим для этой цели детектором в начале 80-х годов оказалась так называемая многопроволочная пропорциональная камера,

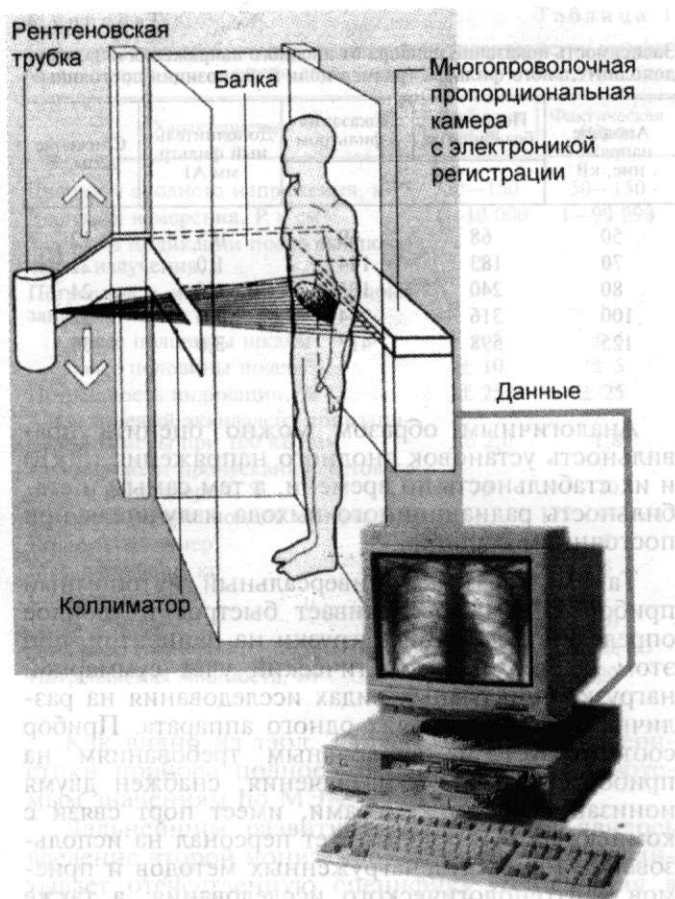


Рис. 1. Схема установки.

разработанная известным физиком, проф. Ж. Шарпаком в 70-х годах и нашедшая самое широкое применение в физике высоких энергий. Кстати, за создание пропорциональных камер ее автор был удостоен Нобелевской премии по физике в 1992 г.

Как и ожидалось, использование в установке вместо фотопленки модифицированной для рентгенографии пропорциональной камеры, работающей в режиме прямого счета рентгеновских квантов и имеющей высокую эффективность, позволило резко снизить дозовые нагрузки, получать изображения в цифровом виде, широко использовать компьютерные технологии и в результате значительно повысить информативность снимков.

Первая цифровая рентгенографическая установка разработана и запущена в Институте ядерной физики СО РАН в 1984 г. [2] и в том же году передана Всесоюзному центру охраны здоровья матери и ребенка (Москва). В 1987 г. она модернизирована [3]. Вторая установка для горизонтального положения пациента передана Центру в 1990 г. В последующие годы проведены существенные усовершенствования установки — значительно улучшено пространственное разрешение, увеличен размер кадра и повышена эффективность регистрации рентгеновского излучения [1]. В 1994—1995 гг. изготовлены четыре такие установки, которые в настоящее время работают в клиниках Москвы, Новосибирска и Парижа.

Малодозная цифровая (беспленочная) рентгенографическая установка (МЦРУ "Сибирь") вклю-

чает стандартный рентгеновский излучатель с питающим его высоковольтным источником, штатив с механической системой сканирования, детектор рентгеновского излучения и систему регистрации и управления (рис. 1). Распределение излучения в горизонтальном направлении измеряется с помощью пропорциональной камеры, а в вертикальном — путем механического сканирования. Для этой цели рентгеновская трубка, щелевой коллиматор и камера во время съемки одновременно и равномерно перемещаются в вертикальном направлении. Коллиматор со щелью 0,5—1 мм формирует тонкий веерообразный пучок рентгеновского излучения, который после прохождения через тело пациента попадает во входное окно камеры.

Многопроводная пропорциональная камера для цифровой рентгенографической установки представляет собой систему из 3 проводочных плоскостей — двух катодных и анодной, расположенной между ними. 320 анодных проводочек диаметром 10 мкм, натянутых с шагом 1,2 мм, подключены к усилителям-дискриминаторам. Камера помещена в объем, заполненный рабочим газом  $\text{Xe} + \text{CO}_2$  (20%) при давлении 3 атм. При поглощении рентгеновского кванта тяжелым атомом ксенона первичная ионизация дрейфует и электроны попадают в область высокой напряженности электрического поля вокруг тонкой анодной проводочки. Происходит ударная ионизация, на проводочку наводится заряд и срабатывает усилитель-дискриминатор. Если квант поглощается примерно посередине между двумя соседними проводочками, срабатывают два соответствующих дискриминатора.

Электроника регистрации содержит 640 счетчиков, соединенных с дискриминаторами через систему отбора. Половина таких каналов регистрирует одиночные срабатывания дискриминаторов, остальные — срабатывание двух соседних дискриминаторов. Таким образом, камеру с размещенной на ней электроникой регистрации можно рассматривать как 640 счетчиков рентгеновских каналов с шириной каналов 0,6 мм. Информация, накопленная в счетчиках за время экспозиции строки, переписывается в память компьютера и затем начинается регистрация следующей по вертикали строки. По окончании съемки кадра в памяти накапливается цифровое изображение — матрица, описывающая распределение излучения после прохождения через тело пациента. Первое нормированное изображение выводится на дисплей через 20 с после сканирования.

Установкой управляют с помощью компьютера. Программное обеспечение установки включает программу врача, программу рентгенолаборанта и программу для проведения автоматического контроля работоспособности установки. Программа рентгенолаборанта позволяет провести съемку нескольких кадров, просмотреть полученные снимки на дисплее, записать их на диск, а также взаимодействовать с архивом, хранящимся в базе данных.

Цифровой вид изображения в памяти компьютера дает возможность врачу проводить самые различные преобразования снимка для улучшения диагностических возможностей проекционной

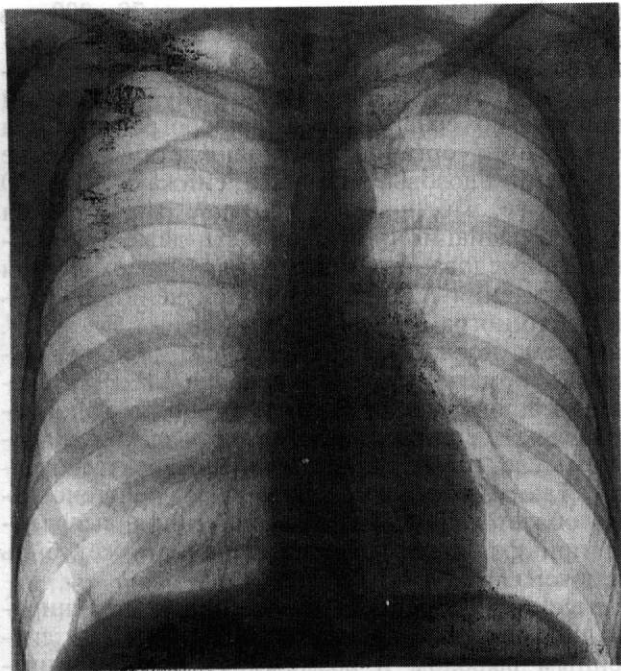


Рис. 2. Рентгенограмма органов грудной клетки. Пневмоторакс справа.

рентгенографии. Для этой цели врач может оперативно изменять нижнюю и верхнюю границы диапазона плотностей, который выводится на экран дисплея с помощью 256 градаций серого. Это позволяет лучше выделить патологические отклонения плотности в интересующем врача месте снимка (рис. 2, 3). Кроме того, с помощью таких операций врач может последовательно оценить состояние тканей различной плотности, например легких, сердца и крупных сосудов, позвоночника. Это связано с широким динамическим диапазоном установки. В некоторых случаях для этой цели может быть использована операция раздельной регулировки контрастности на разных участках снимка (рис. 4). Преобразовать изображение в наиболее удобный для визуального анализа вид можно также с помощью математической обработки цифрового изображения, например за счет подчеркивания контуров или дополнительного расширения диапазона плотностей, одновременно наблюдаемых на экране дисплея.

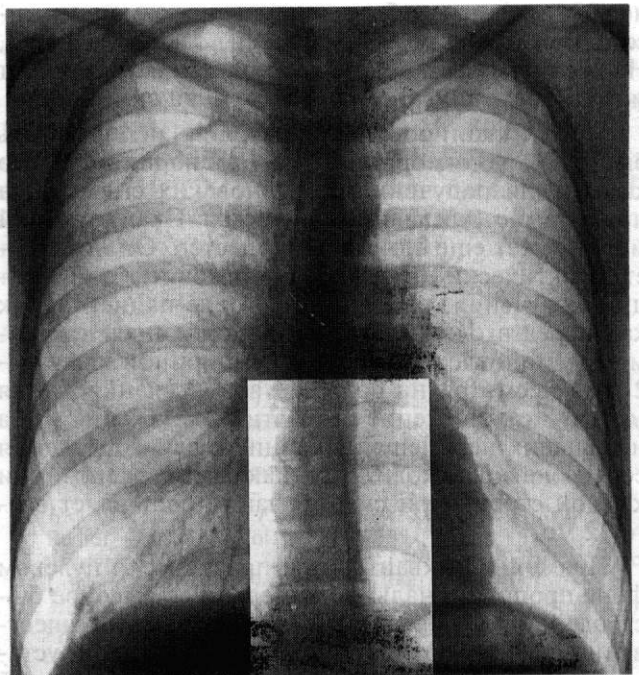


Рис. 4. Рентгенограмма органов грудной клетки. Дополнительная регулировка контрастности выбранного фрагмента снимка.

Установка позволяет получать количественную диагностическую информацию — измерение расстояний, углов, размеров органов или патологических образований. Можно измерить относительную плотность в каждой точке снимка или среднюю относительную плотность в произвольном фрагменте снимка. Программа врача содержит также некоторые сервисные программы, например увеличение размеров снимка на экране, инверсия снимка, вывод на экран одновременно несколько снимков. Это могут быть прямая и боковая проекции или снимки, сделанные в разное время. В случае необходимости врач может запустить специальную диагностическую программу. Так, для целей пельвиометрии разработана программа, позволяющая моделировать основные моменты биомеханизма родов и рассчитывать коэффициенты соответствия размеров головки плода и размеров малого таза женщины в каждой плоскости, прогнозировать течение и исход родов для плода.

МЦРУ "Сибирь" предназначена для широкого круга рентгенологических обследований пациентов. К ним следует отнести исследование органов грудной клетки, в том числе с профилактической целью, опорно-двигательного аппарата, включая позвоночник и череп, проведение предродовой диагностики, исследование причин бесплодия, исследования с применением рентгеноконтрастных веществ и др. Все эти обследования проводятся при дозах облучения, уменьшенных в 30—100 раз по сравнению с традиционными экранопленочными системами.

В стандартном снимке цифровое изображение содержит  $640 \times 640$  элементов. Емкость каждого элемента составляет  $2^{16}$  зарегистрированных кванта, размер элемента изображения на теле пациента —  $0,5 \times 0,5$  мм, размер снимка в плоскости детектора —  $384 \times 320$  мм. Размер снимка по шири-

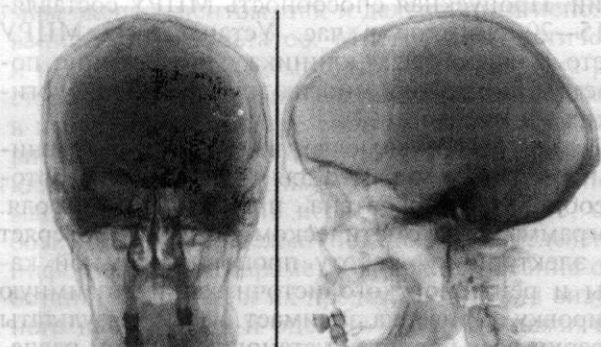


Рис. 3. Краниография в 2 проекциях. Норма.

не (384 мм) может быть уменьшен, размер по высоте может быть как уменьшен, так и увеличен. На жестком диске компьютера емкостью 1 Гбт может быть записано от 1000 до 4000 снимков.

Метод сканирования позволил использовать быструю однокоординатную пропорциональную камеру для получения рентгеновских снимков за приемлемое для пациента время. Сканирующий метод имеет еще одно преимущество. Он позволяет практически полностью исключить регистрацию излучения, рассеянного в теле пациента, так как перед входным окном пропорциональной камеры установлена диафрагма с шириной щели 1—2 мм. Несмотря на большое время сканирования (около 8 с), снижение резкости изображения из-за небольших перемещений пациента или движения сердца не происходит, так как время экспозиции каждой строки при сканировании составляет всего 12 мс.

Прямой счет квантов при практически нулевом фоне пропорциональной камеры и ее высокое быстродействие (порядка 600 кГц на канал) существенно расширяют динамический диапазон установки и доводят его величину до 120. Нулевой фон пропорциональной камеры и исключение из регистрации рассеянного излучения позволяют существенно увеличить контрастную чувствительность установки, которая характеризует возможность обнаружения малых отклонений плотности на снимке.

Важным параметром рентгеновских установок является пространственное разрешение. Обычно разрешение описывается частотно-контрастными характеристиками (ЧКХ) и измеряется с помощью контрастных решеток. Для однородных детекторов, примером которых являются экранопленочные системы регистрации, такой метод является вполне обоснованным. Многопроволочная пропорциональная камера имеет канальную структуру и ее пространственное разрешение в основном определяется размером каналов. В этом случае применение решеток для измерения ЧКХ и определения пространственного разрешения является некорректным. Нами совместно с сотрудниками отделения медицинской физики Лондонского университетского колледжа в 1992—1993 гг. в Новосибирске проведены измерения пространственных контрастных характеристик МЦРУ с помощью тест-объекта Т0.10 [4]. Были подробно сняты кривые зависимости порога контрастности от размеров объекта при различных дозах облучения. Измерения показали, что МЦРУ дает возможность наблюдать объекты размером вплоть до 0,3 мм, а для объектов диаметром больше 0,7 мм имеет более высокую контрастную чувствительность, чем экранопленочные системы [5]. Формальное измерение пространственного разрешения с помощью контрастных решеток давало 0,7—0,8 пар линий на 1 мм.

Группа английских исследователей провела также измерения дозовой нагрузки на пациентов на этой установке, сравнивая полученные результаты со средними дозами в Англии для современных экранопленочных систем. При обследовании легких на установке МЦРУ для прямого снимка доза снижается в 15 раз. При снимках головы, позвоночника и контрастном обследовании органов

брюшной полости дозы снижаются в 70—200 раз [6].

Основные характеристики МЦРУ дают возможность отметить главные преимущества этой установки по сравнению с флюорографами при обследовании органов грудной клетки. При ее применении дозовые нагрузки снижаются в 100 раз и более, что позволяет снять с рассмотрения вопрос о радиационной опасности даже при массовых обследованиях населения (поверхностная доза облучения пациента при получении цифровой рентгенограммы легких составляет 3—5 мР). При этом, по заключению врачей, диагностическая информативность снимков на МЦРУ существенно превосходит информативность флюорографических снимков, а зачастую и снимков, получаемых с помощью стандартной рентгенографии. Таким образом, стандартная рентгенография, обязательная для дообследования выявленной при флюорографии патологии, может быть исключена.

Высокая контрастная чувствительность, широкий динамический диапазон вместе с гибким дисплейным выводом и возможностью математической обработки изображения позволяют врачу выявлять патологию органов грудной клетки на более раннем этапе. Практически нулевые дозы облучения дают возможность врачу при любых сомнениях или слабых признаках патологии назначать пациенту повторное обследование. С помощью компьютерного архива можно быстро и удобно проводить полноценное сравнение результатов двух обследований.

Быстродоступные архивы снимков могут быть созданы с помощью таких носителей, как мягкие и жесткие диски, оптомагнитные и оптические диски и др. Компьютерный архив в отличие от хранилища пленок безопасен в пожарном отношении, не требует специальных помещений. Возможна передача изображений по компьютерным и телефонным сетям для получения консультаций специалистов. Появление изображения на экране практически сразу после сканирования и оценка его качества рентгенолаборантом исключают возможность записи в архив снимка плохого качества. Врач-рентгенолог может вести диагностический просмотр снимков на втором компьютере на своем рабочем месте параллельно с процессом съемки или в любое удобное для него время. Формирование компьютерной базы данных в процессе массового обследования позволяет легко получать отчеты о работе рентгеновского кабинета и проводить статистический анализ накопленной информации. Пропускная способность МЦРУ составляет 15—20 снимков в час. Устанавливая МЦРУ вместо флюорографа, клиника одновременно получает установку для многих других рентгенологических обследований.

Так как МЦРУ включает в себя многие сравнительно сложные узлы, то для проверки ее работоспособности разработана программа контроля. Программа в автоматическом режиме проверяет всю электронику, работу пропорциональной камеры и рентгеновского источника, их взаимную юстировку. Проверка занимает 6 мин. Результаты проверки всех блоков и установки в целом распечатываются принтером. В конце распечатки приводится сообщение об исправности установки. В

противном случае указывается неисправный блок и его параметры. Такую проверку целесообразно проводить ежедневно. Это исключит возможность получения плохого снимка.

Твердые копии рентгеновского снимка могут быть распечатаны на лазерном принтере с разрешением 600 или 1200 точек на дюйм. Такие распечатки по качеству уступают изображению на мониторе. Твердую копию, не уступающую изображению на мониторе, дает термопринтер 9315СТР фирмы "Алден Электроникс".

Недостатком установки является необходимость периодической смены газа в пропорциональной камере. Для этой цели к установке придается передвижной столик с малогабаритным насосом и трехлитровым баллоном с запасом рабочего газа на 2 года. В начале эксплуатации камеры замену газа надо проводить раз в 2 мес. Через полгода время нормальной работы для газа возрастает примерно в 2 раза. Разработчики надеются, что этот срок удастся увеличить до двух лет.

Экономия затрат при использовании МЦРУ вместо экранопленочных рентгеновских аппаратов за счет исключения фотопленки, по данным медсанчасти № 168 (Новосибирск), составляет примерно 15 тыс. долларов в год при односменной работе и средней нагрузке 20 пациентов в день.

В 1995 г. цифровая рентгеновская установка прошла технические и медицинские испытания в Центре сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева РАМН. Технические испытания проводил Всероссийский научно-исследовательский и испытательный институт медицинской техники Минздрава РФ. Комитет по новой медицинской технике Минздрава РФ своим решением от 15.01.96 ре-

комендовал установку к серийному производству и применению в медицинской практике.

Авторы выражают благодарность проф. Н. Н. Блинову (ВНИИМТ) за полезные консультации и плодотворное сотрудничество, проф. А. В. Иванникову (ЦССХ РАМН) и канд. мед. наук А. В. Смирнову (Институт ревматологии РАМН) за проведение клинических испытаний установки и полезные обсуждения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Babichev E. A., Baru S. E., Khabakhpashev A. G. et al. // Nucl. Instrum. Meth. — 1992. — Vol. A323. — P. 49.
2. Baru S. E., Khabakhpashev A. G., Makarov I. R. et al. // Ibid. — 1985. — Vol. A238. — P. 165.
3. Baru S. E., Khabakhpashev A. G., Shekhtman L. I. // Ibid. — 1989. — Vol. A283. — P. 431.
4. Hay G. A., Clarke O. F., Coleman N. J., Cowen A. R. // Brit. J. Radiol. — 1985. — Vol. 58. — P. 335.
5. Martinez-Davalos A., Speller R. D., Miller D. J. et al. // Nucl. Instrum. Meth. — 1994. — Vol. A348. — P. 241.
6. Martinez-Davalos A., Speller R. D., Harrocks J. A. et al. // Phys. Med. Biol. — 1993. — Vol. 38. — p. 1419.

Поступила 19.09.96

#### A DIGITAL RADIOGRAPHIC DEVICE FOR MEDICAL DIAGNOSIS

Ye. A. Babichev, S. Ye. Baru, A. I. Volobuyev, V. V. Gusev, G. M. Kolachev, Yu. A. Nemkov, V. A. Neustroyev, E. L. Nekhaneyich, V. V. Porosev, G. A. Savinov, V. A. Sidorov, Yu. G. Ukraintsev, A. G. Khabakhpashev, L. I. Shekhtman, Yu. B. Yurchenko

**Summary.** The paper outlines a digital radiographic device which records radiation by scanning with a one-dimensional multi-wire proportional chamber connected on-line to a computer. The device drastically reduces a dosage load on patients, improves the diagnostic potentialities of projectional radiography, yields quantitative diagnostic information, creates special diagnostic programmes, has fast-access and fire-safe archives. The device may be used for general-purpose radiographic examinations and it has advantages when used instead of conventional fluorographs.

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 1997

УДК 615.471.03:616-073.7

В. Г. Кнорринг, Л. Н. Кнорринг, В. Н. Мартынов, В. Ю. Сальников

#### ДИАГНОСТИКО-ЛЕЧЕБНЫЙ КОМПЛЕКС С ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ СТРУКТУРОЙ

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Требования к техническим возможностям средств для биологических и медицинских исследований весьма широки и определяются как самим экспериментом, так и дальнейшим использованием его результатов. Многие диагностические и исследовательские методики основаны на регистрации и анализе биопотенциалов, возникающих в исследуемом объекте спонтанно или под действием того или иного стимула. Для реализации таких методик необходимо обеспечить сбор информации о процессах в исследуемом объекте, обработку данных с целью получения определенных информативных параметров, архивирование обработанных данных и их представление для визуального наблюдения и оценки. В тесной связи с перечисленными задачами решается вопрос о стимулирующем воздействии, если оно требуется. В настоящее время, как правило, аппаратура для таких

экспериментов основана на персональных ЭВМ (ПЭВМ), обеспечивающих управление специфическими периферийными устройствами, обработку, представление и архивирование данных.

На практике обнаруживаются два резко различающихся подхода к построению такой аппаратуры [2]. Первый подход, допускающий использование оригинальных методик, состоит в том, что экспериментатор сам собирает установку из отдельных блоков различных фирм, сопрягая их между собой и с ПЭВМ. В качестве таких блоков могут выступать генераторы сигналов, стимуляторы, усилители, фильтры, аттенюаторы, аналого-цифровые преобразователи (АЦП). При этом программное обеспечение (ПО) для получения и обработки данных либо целиком разрабатывают под данный эксперимент, либо используют программные пакеты и оболочки общего применения. Из