

**В.А. Бессонова¹, П.В. Гаврилов², А.А. Комарский^{1, 3},
С.Р. Корженевский¹, А.С. Чепусов^{1, 3}**

СНИЖЕНИЕ ДОЗОВОЙ НАГРУЗКИ НА ПАЦИЕНТА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДИАГНОСТИКИ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ ИМПУЛЬСНЫХ НАНОСЕКУНДНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ КОМПЛЕКСОВ

**V.A. Bessonova¹, P.V. Gavrilov², A.A. Komarskiy^{1, 3}, S.R. Korzhenevskiy¹,
A.S. Chepusov^{1, 3}**

Reduction of Patient Radiation Dose During Diagnostics with the Digital Pulsed Nanosecond X-ray Systems

РЕФЕРАТ

Цель: Исследование диагностических и эксплуатационных возможностей импульсного наносекундного рентгенодиагностического комплекса (ИРК) по сравнению с серийно выпускаемыми комплексами на базе рентгеновских аппаратов с трубками постоянного тока при использовании цифровых плоскопанельных приемников излучения.

Материал и методы: В исследовании рассмотрено три рентгенодиагностических комплекса с цифровыми детекторами: импульсный аппарат Ясень-01 с детектором Carestream DRX-1, мобильный аппарат Definium AMX 700 с детектором производства General Electric, стационарный комплекс Evolution HV производства Stephanix с детектором Canon CXDI-40EC. Сравнение диагностических систем произведено по субъективной оценке качества получаемых диагностических изображений органов грудной клетки, а также по измеренным эквивалентным дозам. Для дозиметрических измерений использованы широкодиапазонный дозиметр ДКС-АТ 1123 и дозиметр универсальный для контроля характеристик рентгеновских аппаратов Unfors Xi.

Результаты: Анализ цифровых рентгеновских снимков позволяет сделать вывод, что полученные при использовании ИРК изображения не уступают по качеству снимкам, зарегистрированным мобильным цифровым рентгенодиагностическим комплексом Definium AMX 700, и совсем незначительно уступают качеству изображения стационарного рентгенодиагностического комплекса Evolution HV. При этом дозовая нагрузка на пациента от ИРК в 20–25 раз меньше, в сравнении с комплексами на базе рентгеновских аппаратов с трубками постоянного тока.

Выводы: Использование импульсных наносекундных рентгеновских аппаратов вместе с цифровыми приемниками излучения позволяет при сохранении качества изображения снизить дозовую нагрузку на пациента до 25 раз. Это особенно актуально при эксплуатации рентгенохирургических аппаратов типа С-дуга с плоскопанельным детектором излучения, работающим в режиме реального времени, так как позволяет существенно увеличить длительность проведения процедур под рентгеновским контролем, снизить дозовую нагрузку не только на пациента, но и на медицинский персонал.

Ключевые слова: импульсный рентгенодиагностический комплекс, снижение дозовой нагрузки, эквивалентная доза, рентгеновское излучение, цифровой приемник излучения

ABSTRACT

Purpose: Investigation of diagnostic and operational capabilities of pulsed nanosecond X-ray complex compared with commercial X-ray systems based on DC-tubes using digital flat panel detectors.

Material and methods: 3 X-ray systems are considered: pulsed X-ray source Jasen-01 with Carestream DRX-1 detector, Definium AMX 700 mobile apparatus with General Electric detector, Evolution HV complex with Canon CXDI-40EC panel detector. The analysis of these systems is based on images quality evaluation and effective dose measurement. DKS-AT 1123 detector and Unfors Xi dosimeter are used for devices radiation parameters control.

Results: Analysis of digital X-ray images shows good results of pulsed system. Snapshots taken by using this device have the same quality as one obtained with Definium AMX 700 system, and its insignificantly is worse than a typical one for Evolution HV. Using pulsed X-ray source with digital detector, we achieve up to 25 times dose decreasing compared with commercial systems with DC-tubes.

Conclusion: Application of pulsed X-ray sources with digital detectors allows to reduce the dose by 25 times comparing with DC-sources. This result is especially important for C-arm device exploitation. Since it operates in real-time mode, application of pulsed X-ray systems with the digital detector significantly decreases patients and medical staff dose and increases the duration of the procedures under X-ray control.

Key words: pulsed X-ray diagnostic system, reduction of radiation exposure, equivalent dose, X-ray, digital detector

Введение

Опыт эксплуатации частотных рентгеновских аппаратов для интроскопии, формирующих импульсы наносекундного диапазона длительности, показал, что невозможно пользоваться имеющимися в прак-

тике таблицами экспозиции, предназначенными для аппаратов с трубками постоянного тока. Требуется уменьшать уставки длительности экспозиции, иначе снимки получаются переэкспонированными. Например, в медицинской диагностике для сним-

¹ Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург.
E-mail: sk@iep.uran.ru

² Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии МЗ РФ

³ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

¹ Institute of Electrophysics, Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg, Russia. E-mail: sk@iep.uran.ru

² Saint-Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, Saint-Petersburg, Russia.

³ Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia.

ка легких на аппарате постоянного тока типичные уставки экспозиции имеют значения от 5 до 10 мАс, а на импульсном аппарате — от 1,2 до 2,0 мАс, что в 4–5 раз ниже. Работы, проведенные нами ранее, позволили объяснить данный факт [1, 2]. Дело в том, что в состав медицинских фотографических приемников излучения входят усиливающие рентгенолюминесцентные экраны, характеризующиеся, кроме всего прочего, эффектом послесвечения, длительность которого составляет сотни микросекунд для любых рентгенолюминесцентных материалов [3]. Генерация рентгеновского излучения с помощью рентгеновской трубки с термоэмиссионным катодом и минимальной длительностью экспозиции более нескольких десятков миллисекунд, что на несколько порядков превышает длительность послесвечения, не позволяет использовать эффект послесвечения рентгенолюминесцентных экранов для снижения дозы, требующейся для формирования изображения. Однако генерация излучения с помощью рентгеновской трубки с холодным взрывоэмиссионным катодом в виде серии импульсов наносекундной длительности с частотой следования порядка нескольких килогерц позволяет полностью использовать эффект послесвечения и в разы снизить дозу, необходимую для получения качественного снимка [4, 5].

В последние годы в рентгеновской технике как для медицинской диагностики, так и для дефектоскопии наблюдается устойчивая тенденция к переходу от фотографических приемников излучения к цифровым. В данной работе рассматриваются возможности и особенности эксплуатации наносекундных импульсных частотных рентгеновских аппаратов с цифровыми приемниками излучения.

Материал и методы

Как и в фотографических пленочных приемниках излучения, рентгеновские кванты, попадающие на

приемник, не сразу взаимодействуют с пленкой или полупроводниковым слоем детектора. На первом этапе формирования изображения ионизирующее излучение взаимодействует с рентгенолюминесцентным материалом, поглощающим рентгеновские кванты с конвертацией их в световые фотоны. Затем свет преобразуется в электрический сигнал (рис. 1).

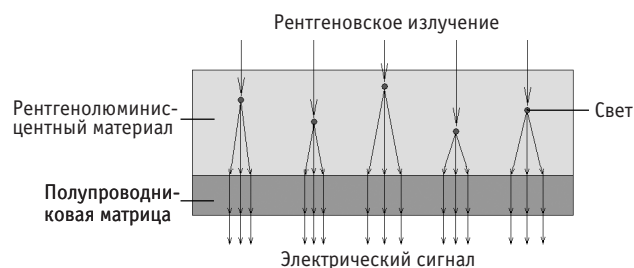


Рис. 1. Схема преобразования рентгеновского излучения в электрический сигнал

Таким образом, основным элементом цифрового плоскостового детектора является матричная панель на основе аморфного кремния, на которую нанесен слой рентгенолюминесцентного материала. В роли последнего в настоящее время используется либо CsI, либо Gd_2O_2S . При этом не важно, по какой технологии изготавливается и работает полупроводниковая подложка. Принципиально важным является обязательное использование в конструкции детектора рентгенолюминесцентных материалов, аналогичных материалам, используемым в усиливающих экранах пленочных приемников излучения, которые, как уже указывалось раньше, не могут мгновенно прекратить свечение в момент завершения облучения рентгеновским излучением. Например, для экранов Ренэкс ЭУ-ГЗ на основе гадолиния нами были получены следующие результаты: при длительности рентгеновского импульса 0,1 мкс время затух-

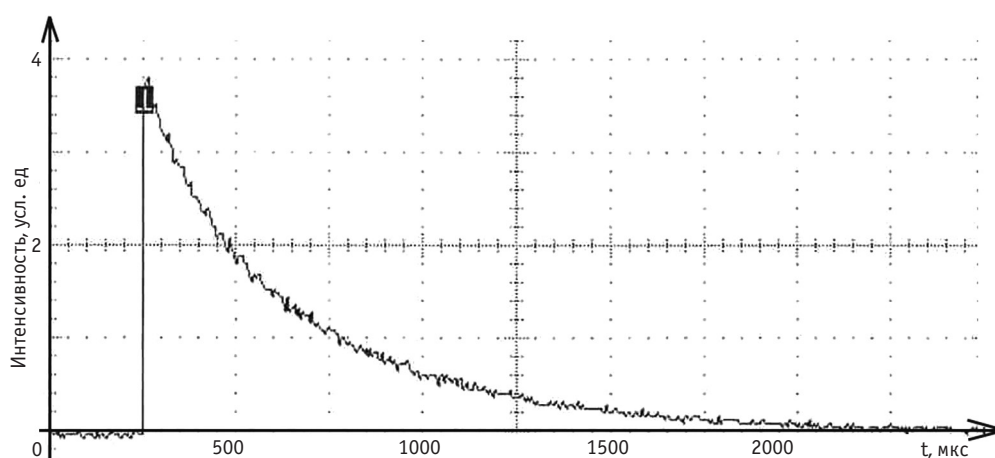


Рис. 2. Послесвечение рентгеновского усиливающего экрана Ренэкс ЭУ-ГЗ

Таблица 1

Характеристики рентгенодиагностических комплексов

Показатель	ИРК	Definium AMX 700, (мобильный)	Evolution HV, (стационарный)
Анодное напряжение, кВ	100–110	95–105	40–150
Диапазон экспозиций, мАс	0,10–150	0,44–200	0,10–500
Потребляемая мощность, кВт	4	12,5	100
Масса, кг	45	468	—
Напряжение электропитания, В	220	220	380
Приемник излучения	Плоскопанельный Carestream DRX-1	Плоскопанельный General Electric	Плоскопанельный Canon CXDI-40EC

хания послесвечения люминофора составляет более 1000 мкс (рис. 2), что на несколько порядков больше длительности наносекундного импульса от излучения рентгеновского аппарата, возбуждающего свечение.

Таким образом, рентгенолюминесцентный материал продолжает испускать фотоны света в течение сотен микросекунд после поглощения рентгеновских фотонов. Данный факт позволяет предположить, что использование импульсных рентгеновских аппаратов для проведения медицинских рентгенографических исследований с цифровым приемником излучения должно привести к снижению дозовой нагрузки на пациента по сравнению с рентгеновскими аппаратами с трубкой постоянного тока, как и при использовании пленочных приемников.

Для точного определения эффективности работы импульсного рентгеновского аппарата и цифрового приемника излучения было проведено сравнительное испытание импульсного рентгенодиагностического комплекса (ИРК) в составе импульсного частотного наносекундного рентгеновского палатного аппарата Ясень-01 [1, 2], снабженного плоскопанельным детектором Carestream DRX-1, с серийно выпускаемыми рентгенодиагностическими комплексами на базе рентгеновских аппаратов, снабженными трубками постоянного тока и плоскопанельными приемниками излучения, аналогичными детектору Carestream DRX-1. В качестве таковых рассмотрены мобильный рентгенодиагностический аппарат Definium AMX 700 с плоскопанельным детектором производства General Electric и стационарный рентгенодиагностический комплекс Evolution HV производства Stephanix с плоскопанельным детектором Canon CXDI-40EC. Характеристики комплексов приведены в табл. 1. Испытания проведены в Санкт-Петербургском научно-исследовательском институте фтизиопульмонологии» Минздрава РФ.

Для проведения дозиметрических измерений использовались широкодиапазонный прибор для дозиметрии непрерывного, кратковременно действующего и импульсного рентгеновского и гамма-излучений ДКС-АТ 1123 (предел допускаемой основной относительной погрешности измерения дозы при работе в режимах измерения непрерывного и кратковременно

действующего излучения $\pm 15\%$, при работе в режиме измерения импульсного излучения $\pm 30\%$) и дозиметр универсальный для контроля характеристик рентгеновских аппаратов Unfors Xi (предел допускаемой основной относительной погрешности измерения дозы $\pm 10\%$). Измерения проводились с уставками, соответствующими получению качественного снимка среднестатистического пациента, для каждого из аппаратов. Для имитации тела пациента за детектором дозиметра устанавливался водный фантом толщиной 25 см, фокусное расстояние до детектора составляло 120 см.

Результаты и обсуждение

Для изучения качества снимков с помощью ИРК получено 20 диагностических изображений органов грудной клетки (передняя прямая проекция). Данные изображения сравнивались с выбранными из компьютерной базы данных генератором случайных чисел 30 изображениями (передняя прямая проекция), полученными на цифровом мобильном рентгенодиагностическом аппарате Definium AMX 700 с плоскопанельным детектором производства General Electric и 30 изображениями (передняя прямая проекция), полученными на рентгенодиагностическом комплексе Evolution HV производства Stephanix с плоскопанельным детектором Canon CXDI-40EC. Изображения оценивались субъективно — тремя рентгенологами независимо друг от друга. Оценка выносилась по пятибалльной шкале: отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно, крайне неудовлетворительно. Просмотр рентгенограмм проводился на мониторе для медицинских изображений Nec MD 21GS-3MP. Для оценки качества рентгенограмм органов грудной клетки, полученных на аппаратах, использовались следующие критерии:

- 1) Полнота охвата исследуемого объекта. Критерием является получение отображения всей грудной клетки от верхушек до реберно-диафрагмальных синусов и полностью боковые отделы.
- 2) Четкость изображения. Критерием четкости рентгенограммы является одноконтурность изображе-

ния передних отрезков видимых на рентгенограмме ребер.

3) Жесткость рентгенограммы. Критерием оптимальной (средней) жесткости является видимость на рентгенограмме тел 3–4-го верхних грудных позвонков.

4) Структурная проработка рентгенограммы. Критерием является визуализация изображения сосудов до периферии легких.

В табл. 2 приведены данные по качеству рентгенограмм органов грудной клетки в передней проекции, полученных при использовании ИРК.

Таким образом, качество полученных рентгенограмм соответствовало требованиям, предъявляемым к рентгенограммам, получаемым на палатных аппаратах. Их с уверенностью можно было использовать для диагностики. Неоптимальная жесткость изображения (15 %) легко корректировалась за счет изменения ширины окна оптической плотности при анализе цифрового изображения на экране дисплея.

Результаты, полученные при оценке изображений, представлены в табл. 3.

Таким образом, изображения органов грудной клетки в передней проекции, полученные при использовании импульсного палатного аппарата Ясень-01 с цифровым детектором Carestream DRX-1, не уступают по качеству изображениям, полученным при использовании мобильного цифрового рентгенодиагностического аппарата Definium AMX 700 и совсем незначительно уступают качеству изображений, полученных на стационарном рентгенодиагностическом комплексе Evolution HV производства STEPHANIX с плоскопанельным детектором Canon CXDI-40EC.

Диагностические изображения, полученные на импульсном палатном рентгеновском аппарате Ясень-01 с цифровым детектором Carestream DRX-1, позволяют выявить все основные синдромы поражения легких: затенения и просветления легочного поля или его части, изменения легочного рисунка, наличия газа или жидкости в плевральной полости (рис. 3).

Результаты дозиметрического контроля приведены в табл. 4.

Таким образом, дозиметрические измерения, проведенные в ходе исследования, подтвердили предположение, что использование импульсных рентгеновских аппаратов для проведения медицинских рентгенографических исследований с цифровым приемником излучения ведет к снижению дозовой нагрузки на пациента по сравнению с комплексами на базе трубок постоянного тока более чем на порядок, что многократно превышает погрешность измерений дозы, и не может быть объяснено недостоверностью проведенных измерений.

Таблица 2

Параметры качества рентгенограмм органов грудной клетки в передней проекции, полученных при использовании ИРК

Критерий	Снимки, соответствующие оптимальному параметру, %
Полнота охвата исследуемого объекта	100
Четкость изображения	95
Жесткость рентгенограммы	85
Структурная проработка рентгенограммы	95

Таблица 3

Субъективная оценка рентгенограмм, полученных на различных аппаратах

Аппарат	Средняя оценка		
	Врач 1	Врач 2	Врач 3
Ясень-01	4,65	4,75	4,7
Definium AMX 700	4,75	4,6	4,7
Evolution HV	5	5	5

Таблица 4

Эквивалентные дозы

Название аппарата	Область исследования	Эквивалентная доза, мЗв	Относительная доза
Ясень-01	Легкие (передняя проекция)	0,027	1
Definium AMX 700	Легкие (передняя проекция)	0,569	21,1
Evolution HV	Легкие (передняя проекция)	0,721	26,7

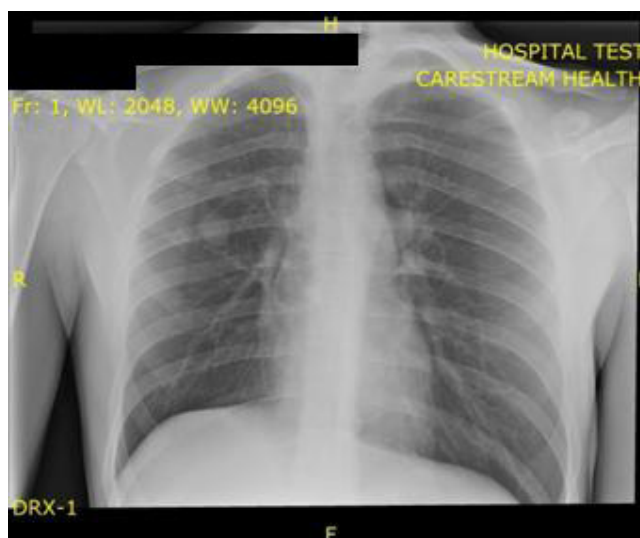


Рис. 3. Рентгенограмма органов грудной клетки, полученная с помощью ИРК

Заключение

Снижение дозовой нагрузки на пациента при использовании импульсных рентгеновских аппаратов, генерирующих излучение в виде серии импульсов, длительность которых более чем на порядок меньше времени послесвечения усиливающих рентгенолюминесцентных экранов, составляет от 20 до 25 раз при использовании цифровых приемников излучения. При этом диагностическая ценность полученных изображений не уступает снимкам, получаемым с помощью комплексов на базе рентгеновских аппаратов с трубками постоянного тока. Этот результат особенно актуален и должен приниматься во внимание при создании и эксплуатации рентгенохирургических аппаратов со штативом типа С-дуга, так как позволяет не только существенно увеличить длительность проведения процедур под рентгеновским контролем, но и снизить дозовую нагрузку не только на пациента, но и медицинский персонал. Кроме того, ИРК характеризуется малым энергопотреблением и не требует для своей работы мощных сетей электропитания.

Коллектив авторов выражает благодарность заведующей отделением рентгеновских методов исследования Свердловского областного клинического психоневрологического госпиталя для ветеранов войн И.Э. Можаровой и заведующему физико-дозиметрическим отделом Свердловского областного онкологического диспансера С.Н. Баянкину за участие в обсуждении результатов и консультации при подготовке работы.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 0389-2014-0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Можарова И.Э., Корженевский С.Р., Кузнецов В.Л. Анализ принципов работы импульсных рентгеновских аппаратов // Медицинский бизнес. 2012. № 12. С. 40–42.
2. Komarskiy A.A., Chepusov A.S., Kuznetsov V.L. et al. Reducing radiation dose by using pulse X-ray apparatus // J. Biosc. Med. 2014. Vol. 2. № 2. P. 17–21.
3. Казанкин О.Н., Марковский Л.Я., Миронов И.А. и соавт. Неорганические люминофоры. — Л.: Химия. 1975. 192 с.
4. Патент 2334465 РФ. Мобильный малогабаритный рентгеновский аппарат. Филатов А.Л., Бастриков В.Л., Корженевский С.Р., Кузнецов В.Л., Поникаровских А.Э. 2008.
5. Патент 130135 РФ. Импульсная металлокерамическая рентгеновская трубка. Корженевский С.Р., Кузнецов В.Л., Комарский А.А., Чепусов А.С., 2013.

Поступила: 18.09.2015

Принята к публикации: 12.02.2016