

Применение импульсных частотных наносекундных рентгеновских аппаратов для диагностики

С.Н. Баянкин¹, заведующий физико-дозиметрическим отделом;
И.Э. Можарова², заведующая отделением рентгеновских методов исследования;
В.Л. Кузнецов³, д. т. н., заведующий лабораторией импульсных источников излучений;
С.Р. Корженевский³, к. т. н., ст. науч. сотр. лаборатории импульсных источников излучений;
А.А. Комарский³, мл. науч. сотр. лаборатории импульсных источников излучений

¹ ГБУЗ Свердловской области «Свердловский областной онкологический диспансер»,
ул. Соболева, 29, Екатеринбург, 620036, Российская Федерация;

² ГБУЗ Свердловской области «Свердловский областной клинический психоневрологический госпиталь для ветеранов войн»,
ул. Соболева, 25, Екатеринбург, 620036, Российская Федерация;

³ ФГБУН «Институт электрофизики» Уральского отделения РАН,
ул. Амундсена, 106, Екатеринбург, 620016, Российская Федерация

Use of diagnostic nanosecond X-ray pulse apparatuses

S.N. Bayankin¹, Head of Department of Physics and Dosimetry;
I. E. Mozharova², Head of Department of X-ray Methods of Investigation;
V.L. Kuznetsov³, Dr. of Tech. Sci., Head of Laboratory of Pulsed Radiation Sources;
S.R. Korzhenevskiy³, Cand. of Tech. Sci., Senior Researcher of Laboratory
of Pulsed Radiation Sources;
A.A. Komarskiy³, Junior Researcher of Laboratory of Pulsed Radiation Sources

¹ Sverdlovsk Regional Oncology Dispensary,
ul. Soboleva, 29, Ekaterinburg, 620036, Russian Federation;

² Sverdlovsk Regional Clinical Neuropsychiatric Hospital for War Veterans,
ul. Soboleva, 25, Ekaterinburg, 620036, Russian Federation;

³ Institute of Electrophysics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
ul. Amundsena, 106, Ekaterinburg, 620016, Russian Federation

Цель исследования – изучение особенностей применения импульсных частотных наносекундных рентгеновских аппаратов для диагностики по сравнению с рентгенодиагностическими аппаратами, использующими рентгеновские трубки постоянного тока.

Материал и методы. Проведены сравнительные дозиметрические испытания импульсных рентгеновских аппаратов АРДП-01 и Ясень-01 с диагностическими рентгеновскими аппаратами РУМ20 и Siemens Axiom Iconos R200, в которых используется рентгеновская трубка постоянного тока.

Результаты. Доза облучения пациента на аппарате Ясень-01 в 2,5–3 раза меньше, чем на аппарате Siemens Axiom Iconos R200, а доза облучения на аппарате АРДП-01 в 10–20 раз меньше, чем на аппарате РУМ20, при использовании пленочных приемников излучения.

Заключение. Проведенные исследования демонстрируют снижение (в разы) дозы рентгеновского излучения при использовании импульсных наносекундных рентгеновских аппаратов по сравнению с аппаратами постоянного излучения. Дальнейшее снижение дозы без изменения характеристик приемника излучения возможно за счёт увеличения амплитуды и уменьшения длительности импульса тока рентгеновской трубки, увеличения скважности импульсов.

Введение

По результатам анализа радиационно-гигиенической паспортизации территории Российской Федерации значительный вклад

в дозу облучения населения вносит медицинское облучение [1]. В различных регионах России этот вид облучения составляет от 7,0 до 44,7% от коллективной

Objective. The study the specific features of using diagnostic nanosecond X-ray pulse apparatuses versus X-ray diagnostic apparatuses using direct current X-ray tubes.

Material and methods. Dosimetric tests of ARDP-01 and Yasen-01 X-ray pulse apparatuses versus RUM20 and Siemens Axiom Iconos R200 apparatuses using direct current X-ray tubes were carried out.

Results. The tests established that the patient radiation dose by a Yasen-01 apparatus is 2.5–3 times lower than that by a Siemens Axiom Iconos R200 apparatus. The radiation dose by an ARDP-01 apparatus was 10–20 times lower than that by a RUM20 apparatus when using film radiation detectors.

Conclusion. The performed investigations demonstrate a manifold reduction in the lower X-ray radiation with the use of nanosecond X-ray pulse apparatuses as compared to the continuous radiation. Without changing the characteristics of a radiation detector, the dose can be further reduced by increasing the amplitude and decreasing the duration of the pulse of X-ray tube current, and raising the pulse ratio.

Ключевые слова:

рентгенодиагностика, импульсный частотный наносекундный рентгеновский аппарат, снижение дозы

Index terms:

X-ray diagnosis, nanosecond X-ray pulse apparatuses, dose reduction

дозы облучения населения и занимает, по вкладу в суммарную дозу облучения, второе место после природных источников ионизирующего излучения, при этом на 98% он формируется за счет диагностических и профилактических рентгенологических исследований, охватывающих практически все категории населения. Наибольший вклад в коллективную дозу медицинского облучения пациентов в 2009 г. внесли рентгенографические (36,7%) и компьютерно-томографические (19,4%) исследования. Вклад флюорографических исследований составил 17,6%, рентгеноскопических исследований – 17,2% [2].

Материал и методы

На базе Свердловского областного клинического психоневрологического госпиталя для ветеранов войн проведены сравнительные дозиметрические испытания импульсных частотных наносекундных рентгеновских аппаратов АРДП-01 [3] (максимальное напряжение 110 кВ, ток трубки 450 А, длительность импульса 12 нс, частота следования импульсов 850 Гц) и Ясень-01 [4, 5] (максимальное напряжение 110 кВ, ток трубки 150 А, длительность импульса 30 нс, частота следования импульсов 5 кГц) с диагностическими рентгеновскими аппаратами РУМ20 и Siemens Axiom Iconos R200 (максимальное напряжение 125 кВ), в которых используется рентгеновская трубка постоянного тока.



Рис. 1. Рентгенограмма локтевого сустава, выполненная при помощи рентгеновского аппарата РУМ-20 (44 кВ, 25 мА, 0,08 с).



Рис. 2. Рентгенограмма локтевого сустава, выполненная при помощи импульсного рентгеновского аппарата Ясень-01 (110 кВ, 1,2 мАс).

В испытаниях принимали участие специалисты дозиметрической лаборатории Свердловского областного онкологического диспансера. Измерения дозиметрических характеристик проводились клиническим дозиметром референсного класса PTW UNIDOS с цилиндрической ионизационной камерой фармеровского типа объемом 0,6 см³. Для измерений выбраны несколько стандартных режимов проведения диагностических исследований сравниваемых аппаратов для соответствующих органов. Критерием, позволяющим сравнивать аппараты, являлось диагностическое качество снимков, получаемых в этих режимах (рис.1, 2).

Для имитации тела пациента за ионизационной камерой поставлен водный фантом толщиной 20 см, фокусное расстояние до ионизационной камеры составляло 100 см.

Результаты и обсуждение

Результаты измерений представлены в таблицах 1, 2.

Анализ полученных данных показал, что доза облучения на аппарате Ясень-01 в 2,5–3 раза меньше, чем на аппарате Siemens Axiom Iconos R200, а доза облучения на аппарате АРДП-01 в 10–20 раз меньше, чем на аппарате РУМ20.

Для объяснения данного факта мы провели исследования указанных выше рентгенодиагнос-

Таблица 1

Сравнение доз облучения, полученных при использовании рентгенодиагностических аппаратов Siemens Axiom Iconos R200 и Ясень-01

Объект; проекция	Siemens Axiom Iconos R200			Ясень-01		
	Напряжение, кВ	Экспозиция, мАс	Доза, отн. ед.	Напряжение, кВ	Экспозиция, мАс	Доза, отн. ед.
Легкие; прямая	57	3,6	2,9	110	1,4	1
Череп; боковая	60	8	2,7	110	3,7	1
Бедренная кость, верхняя часть; прямая	55	8	2,4	110	3,4	1
Коленный сустав; прямая	47	6,3	2,5	100	1,8	1
Голеностоп; прямая	48	4,5	3,3	100	1,0	1

**Сравнение доз облучения, полученных при использовании
рентгенодиагностических аппаратов РУМ20 и АРДП-01**

Объект; проекция	РУМ20				АРДП-01		
	Напряжение, кВ	Ток, мА	Экспозиция, мАс	Доза, отн. ед.	Напряжение, кВ	Экспозиция, мАс	Доза, отн. ед.
Легкие; прямая	63	150	0,06	21,2	110	0,65	1
Череп; боковая	63	100	0,32	21,3	110	2,45	1
Брюшная полость; прямая	63	100	0,6	32,1	110	3,1	1
Коленный сустав; прямая	48	100	0,32	9,7	110	0,5	1

тических комплексов. Особое внимание уделялось приемникам рентгеновского излучения и особенностям формирования изображения при использовании частотного импульсного и постоянного источников излучения.

В настоящее время в медицинской диагностике в составе приемников рентгеновского излучения обязательны к применению усиливающие рентгенолюминесцентные экраны, многократно снижающие дозовую нагрузку на пациента. Например, рентгеновская пленка, которая является наиболее распространенным приемником излучения, имеет коэффициент поглощения рентгеновского излучения всего 0,01, а усиливающий экран $Gd_2O_2S:Tb$ – 0,29 [6]. Также известно, что люминофоры, которые используются для изготовления усиливающих экранов, имеют некоторое время послесвечения [7]. Причем это время стремятся уменьшить, чтобы избежать как динамической нерезкости при диагностике, так и экспонирования рентгеновской пленки при ее хранении совместно с усиливающими экранами. Для точного определения длительности послесвечения было проведено измерение временных характеристик и интенсивности свечения люминофоров, применяемых в медицинской диагностике: Kodak lanex, Ренэкс ЭУ-ГЗ, Ренэкс ЭУ-Г300, Ренэкс ЭУ-И4. На рисунке 3 приведена осциллограмма, иллюстрирующая процесс послесвечения люминофора Ренэкс ЭУ-ГЗ, типичная для всей группы рассматриваемых усили-

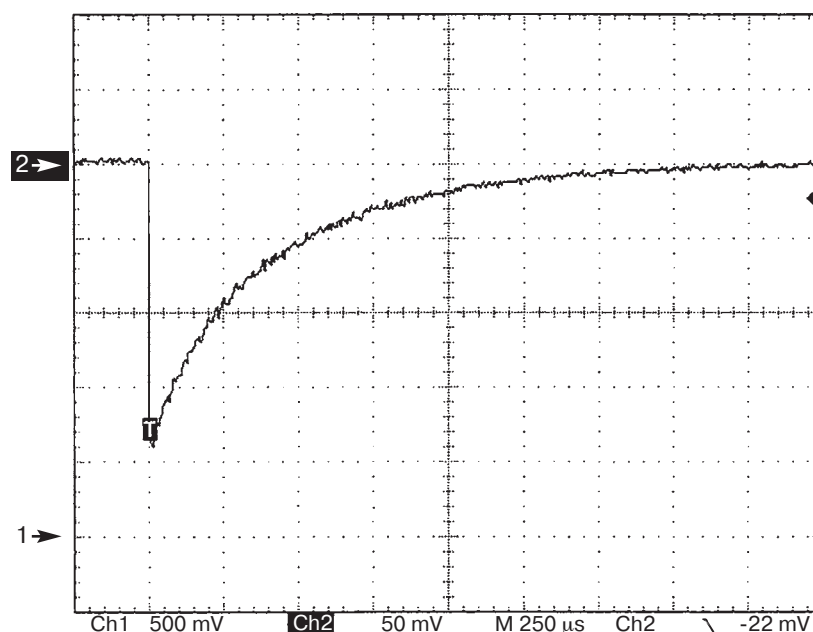


Рис. 3. Послесвечение рентгеновского усиливающего экрана Ренэкс ЭУ-ГЗ.

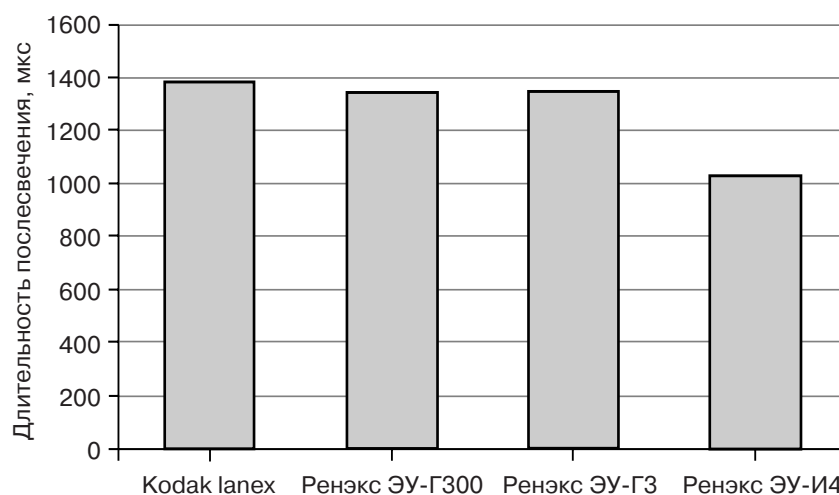


Рис. 4. Длительность послесвечения усиливающих экранов по уровню 0,1.

вающих экранов. Длительность послесвечения по уровню 0,37 составляет 500 мкс при длительности рентгеновского импульса 0,1 мкс.

Итоговые результаты по длительности послесвечения усиливающих экранов по уровню 0,1 представлены на рисунке 4.

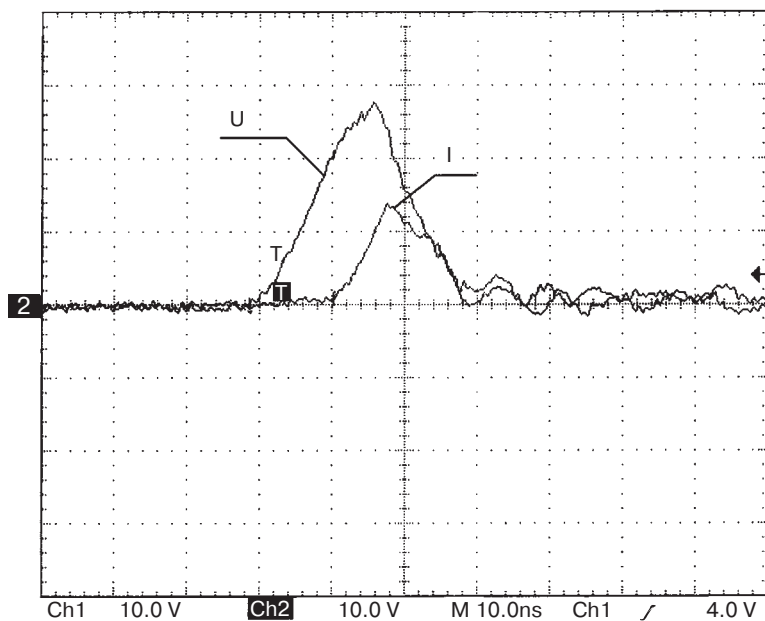


Рис. 5. Осциллограмма напряжения и тока трубки РИА1-120 при подключении к АРДП-01. Амплитуда напряжения (U) – 110 кВ, амплитуда тока (I) – 450 А, развертка 10 нс/дел.

Измерения амплитудно-временных характеристик послесвечения показывают, что для всех рассматриваемых люминофоров характерно послесвечение на уровне миллисекунды, что на несколько порядков больше длительности импульса излучения наносекундного рентгеновского аппарата (рис. 5).

Таким образом, рентгеновские кванты облучают люминофор рентгеновского фотоприёмника с интенсивностью I_r , при этом интенсивность свечения люминофора $I_l(t) = I_0 e^{-t/\tau}$, где $I_l(t)$ – интенсивность свечения в момент времени t , I_0 – интенсивность свечения в момент прекращения возбуждения люминесценции, $I_0 \approx (0,2-0,01) I_r$, τ – средняя продолжительность возбужденного состояния атомов или молекул люминофора. При использовании источника постоянного рентгеновского излучения люминофор на всём протяжении экспозиции длительностью от сотен миллисекунд и более генерирует световое излучение с интенсивностью I_0 , со спадом послесвечения после воздействия рентгеновского излучения в e раз за время $(1-1,5) \cdot 10^{-3}$ с. При им-

пульсном облучении после воздействия рентгеновского импульса длительностью менее 100 нс послесвечение люминофора спадает в e раз также за время $(1-1,5) \cdot 10^{-3}$ с [7]. Следовательно, в результате того, что рентгеновская плёнка накапливает светосумму конвертированного люминофором рентгеновского излучения (формирование изображения на рентгеновской плёнке происходит и после окончания воздействия на неё рентгеновского излучения), большая разница длительности импульса рентгеновского излучения и спада послесвечения люминофора позволяет снижать поглощенную дозу в несколько раз при эксплуатации частотных импульсных аппаратов вместо аппаратов постоянного тока.

Кроме того, интенсивность свечения люминофора I_l пропорциональна интенсивности рентгеновских квантов I_r , то есть фактически пропорциональна току трубки I_e , ограниченному максимально допустимой тепловой нагрузкой анода. Поэтому в настоящее время режимы съёмки аппаратами постоянного излучения ограничены значениями тока ме-

нее 1 А. Тогда как ток импульсной трубки достигает амплитудных значений 150–450 А, что приводит к увеличению интенсивности свечения люминофора I_l в десятки раз. При этом, например, при частоте следования импульсов тока $f = 1$ кГц и длительности импульса $\tau = 10^{-8}$ с скважность $Q = 1/f\tau$ достигает 10^5 , а средний ток трубки I_{cp} при импульсе тока $I_e = 100$ А обратно пропорционален скважности импульсов: $I_{cp} = I_e/Q$ и составляет всего $1 \cdot 10^{-3}$ А.

Большее снижение дозы облучения, достигнутое на аппарате АРДП-01, объясняется большей силой тока (АРДП-01 – 450 А, Ясень-01 – 150 А). Кроме того, АРДП-01 формирует рентгеновские импульсы меньшей длительности (АРДП-01 – 12 нс, Ясень-01 – 30 нс), в результате чего спектр излучения аппарата АРДП-01 более однороден и обладает большей эффективной энергией (АРДП-01 – 51 кэВ, Ясень-01 – 42,5 кэВ).

Заключение

Проведенные исследования демонстрируют снижение в разы дозы облучения пациента рентгеновским излучением при использовании импульсных наносекундных рентгеновских аппаратов по сравнению с аппаратами постоянного излучения, что объясняется большими амплитудами тока импульсных рентгеновских трубок и эффективным использованием особенностей усиливающих рентгенолюминоцентных экранов при импульсно-частотной генерации рентгеновского излучения. Дальнейшее снижение дозы возможно за счёт увеличения амплитуды импульса тока I_e , уменьшения длительности импульса τ , увеличения скважности Q .

Литература

1. Ограничение облучения населения при проведении рентгенодиагностических медицинских исследований. 15 февраля 2011.

Available at: <http://ru31.fmbaros.ru/2899/2900/item/2437>

2. Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2010.
3. Filatov A.L., Korzhenevski S.R., Kuznetsov V.L., Ananin M.V., Motovilov V.A. The nanosecond PP X-ray apparatus. In: Proc. 15-th International Conference on High-Power Particle Beams. St. Petersburg, 2004: 552–4.
4. Филатов А.Л., Бастриков В.Л., Корженевский С.Р., Кузнецов В.Л., Поникаровских А.Э. Универсальный мобильный рентгеновский аппарат. Патент РФ, № 64153, МПКО 24-01; 2007.
5. Можарова И.Э., Кузнецов В.Л. Импульсный наносекундный палатный рентгеновский аппарат

«Ясень 01». *Медицинский бизнес*. 2011; 9 (209): 84–5.

6. Блинов Н.Н., Быков Р.Е., Козловский Э.Б. Технические средства медицинской интроскопии. М.: Медицина; 1989.
7. Казанкин О.Н. и др. Неорганические люминофоры. Л.: Химия; 1975.

References

1. Limitation of public exposure during X-ray diagnostic medical research. Available at: <http://ru31.fmbaros.ru/2899/2900/item/2437> (in Russian).
2. Radiation-hygienic passport of the Russian Federation. Moscow: Federal'nyy tsentr gigieny i epidemiologii Rosпотребнадзора; 2010 (in Russian).
3. Filatov A.L., Korzhenevski S.R., Kuznetsov V.L., Ananin M.V., Moto-

vilov V.A. The nanosecond PP X-ray apparatus. In: Proc. 15-th International Conference on High-Power Particle Beams. St. Petersburg, 2004: 552–4.

4. Filatov A.L., Bastrikov V.L., Korzhenevski S.R., Kuznetsov V.L., Ponikarovskikh A.E. Universal mobile X-ray apparatus. Patent RF, № 64153, МПКО 24-01; 2007 (in Russian).
5. Mozharova I.E., Kuznetsov V.L. Pulsed nanosecond mobil X-ray apparatus «Yasen' 01». *Meditsinskiy biznes*. 2011; 9 (209): 84–5 (in Russian).
6. Blinov N.N. et al. Technical means of medical imaging. Moscow: Meditsina; 1989 (in Russian).
7. Kazankin O.N. et al. Inorganic phosphors. Leningrad: Khimiya; 1975 (in Russian).

Поступила 27.06.2014