

**В.Д. Рыжиков, Б.В. Гринёв, В.Г. Волков,
Е.К. Лисецкая, С.В. Махота, Е.В. Попкова**

Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины, Харьков

ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ



Предложен способ измерения бесконтактным методом напряжения рентгеновской трубки, мощности экспозиционной дозы и экспозиционной дозы. Способ базируется на использовании оригинального двухэнергетического детектора рентгеновского излучения. На макете прибора промоделировано измерение ускоряющих напряжений в диапазоне от 40 до 150 кВ и измерение мощности дозы с повышенной точностью, которая достигнута благодаря специальной форме спектральных характеристик чувствительности элементов детектора.

Ключевые слова: рентгеновское излучение, анодное напряжение, доза, детектор.

В настоящее время в Украине уделяется большое внимание контролю за соблюдением основных требований и норм по обеспечению радиационной безопасности персонала и пациентов при проведении медицинских рентгенологических процедур с диагностической, профилактической, терапевтической или исследовательской целями. Для получения высокого качества диагностики при минимальной дозе облучения пациента необходимо обеспечение заданных условий рентгеновского исследования [1]. В соответствии с требованиями Сан-ПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований» [2] необходимо проводить контроль эксплуатационных параметров аппаратов. Необходимость контроля параметров объясняется их влиянием не только на интегральную интенсивность генерируемого рентгеновского излучения, но и на его спек-

тральный состав и проникающую способность. Поэтому эти параметры определяют дозиметрические характеристики излучения, которые влияют как на величину дозы облучения пациента, так и на качество получаемого рентгеновского изображения. В условиях лечебно-профилактического учреждения желательно контролировать параметры РДА радиационными методами, т. е. без вмешательства в электрические цепи питающего устройства. Приборы для обеспечения этой деятельности в основном производятся за рубежом.

Прибор российского производства «УКРЭХ» (Устройство контроля электрических и радиационных параметров рентгеновских аппаратов) предназначен для контроля анодного напряжения на рентгеновской трубке, времени экспозиции и мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения. Прибор измеряет ускоряющее напряжение на трубке в диапазоне $40 \div 125$ кВ с погрешностью измерения не более $\pm 5\%$. В качестве датчиков в приборе используют три одинаковых сцинтилляторных детектора с медными фильтрами различ-

ной толщины, конструкция моноблочная [3]. При необходимости переключения детекторов в процессе измерений в широком диапазоне напряжений наблюдаются значительные погрешности измерений в диапазоне 60÷80 кВ. Размещение датчиков в одном корпусе с индикатором создает значительные неудобства при измерениях. Цена УКРЭХ — около 3900 дол. США, (производитель НПЦ медицинской радиологии, г. Москва).

Серия приборов DIAVOLT в зависимости от модели измеряет ускоряющее напряжение на трубке в диапазоне 40÷50 кВ с погрешностью ± 1 кВ или при маммографии от 20 до 40 кВ, конструкция моноблочная [4]. Погрешность измерения гораздо меньше, чем у УКРЭХ. Моноблочность создает неудобства эксплуатации, цена высокая.

Шведские приборы серии BARRACUDA измеряют ускоряющее напряжение на трубке в диапазоне 35÷155 кВ с точностью $\pm 1,5$ % или при маммографии от 18 до 49 кВ с точностью $\pm 1,5$ % или 0,7 кВ, конструкция с выносным детектором [5; 6].

Шведский универсальный дозиметр рентгеновского излучения Unfors Xi — прибор нового поколения для контроля электрических и радиационных характеристик медицинских рентгеновских аппаратов [7]. Прибор Unfors Xi обладает высокими метрологическими и эксплуатационными характеристиками, возможностью смены блоков детектирования для проведения измерений источников рентгеновского излучения различного назначения. Прибор измеряет ускоряющее напряжение на трубке в диапазоне 40÷150 кВ с погрешностью измерения не более ± 5 %. Высокая цена — около 13 000 дол. США, (производитель — фирма Unfors Instrument AB, Швеция).

В Украине имеется научный и промышленный потенциал для разработки и производства недорогого, но эффективного прибора. В Институте сцинтилляционных материалов НАН Украины (г. Харьков) разработан и изготовлен макетный образец такого прибора.

ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ «КРИСТАЛЛ»

Нами предложен способ измерения бесконтактным методом напряжения рентгеновской трубки, мощности экспозиционной дозы и экспозиционной дозы. Способ базируется на использовании оригинального 2-энергетического детектора рентгеновского излучения [8]. 2-энергетический детектор состоит из двух сцинтилляторных детекторов. Первый детектор с тонким сцинтиллятором принимает весь поток рентгеновского излучения от источника. Низкоэнергетическая часть этого потока преобразуется в сигнал первого детектора. На второй детектор (сквозь первый детектор) попадает часть потока без низкоэнергетической части. Сигнал второго детектора обусловлен высокоэнергетической частью потока рентгеновского излучения.

При изменении анодного напряжения на рентгеновской трубке изменяется энергетический спектр потока излучения. Соотношение сигналов первого и второго детекторов характеризует форму спектра принятого излучения, что однозначно соответствует анодному напряжению излучателя.

Выбором толщин сцинтилляторов первого и второго детекторов можно обеспечить требуемую точность измерения анодного напряжения в заданном диапазоне. Описанная геометрия измерения потока рентгеновского излучения имеет еще одно существенное преимущество. При сложении сигналов двух детекторов получаем величину, пропорциональную мощности дозы излучения в месте расположения измерительной головки. Точность измерения мощности дозы при этом одинакова во всем диапазоне изменения анодного напряжения.

При возрастании анодного напряжения излучателя абсолютные значения сигналов на обоих детекторах увеличиваются. Но скорость возрастания разная, она определяется спектральными характеристиками детекторов.

Спектральная плотность излучения I_v непрерывного спектра рентгеновского излу-

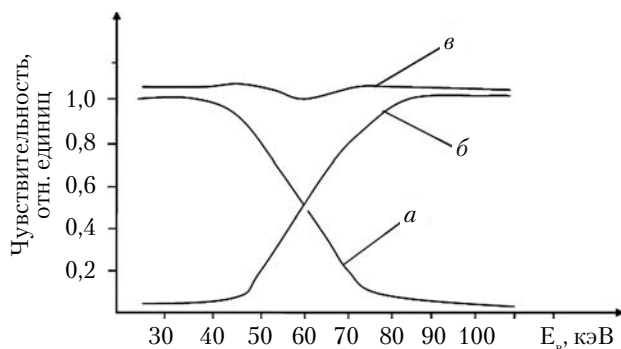


Рис. 1. Энергетическая зависимость чувствительности низкоэнергетического детектора № 1 (кривая *a*); высокоэнергетического детектора № 2 (кривая *б*); суммарная чувствительность системы (кривая *в*)

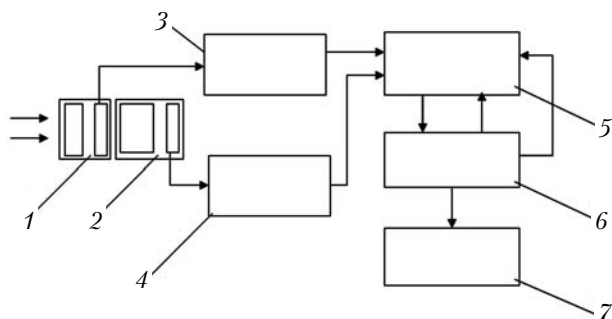


Рис. 2. Блок-схема макета прибора «КРИСТАЛЛ»: 1 – детектор № 1; 2 – детектор № 2; 3 – усилитель № 1; 4 – усилитель № 2; 5 – АЦП; 6 – микроконтроллер; 7 – компьютер

ния, генерируемого при анодном токе i с анода, вещество которого имеет атомный номер Z , выражается соотношением, приведенным в [9]:

$$I_v = CiZ [(v_0 - v) + BZ], \quad (1)$$

где v_0 – граничная частота в спектре, определяемая по выражению $v_0 = 2,42 \cdot 10^{14} U$, (U – разность потенциалов ускоряющего поля; C и B – постоянные коэффициенты).

Слагаемое BZ сказывается только вблизи коротковолновой границы спектра. Для приближенных расчетов им можно пренебречь и (1) представить в виде

$$I_v = CiZ (v_0 - v). \quad (2)$$

Интенсивность тормозного рентгеновского излучения, генерируемого при напряжении U , находится путем интегрирования выражения (2):

$$I = \int I_v dv = CiZ \int (v - v_0) dv = CiZ v_0^2 / 2. \quad (3)$$

Сигнал детектора рентгеновского излучения типа *сцинтиллятор–фотодиод* в виде тока пропорционален интенсивности рентгеновского излучения в спектральном диапазоне чувствительности детектора.

Сигнал детектора можно рассчитать путем вычисления интеграла от произведения спектральной плотности излучения на спектральную чувствительность детектора.

Для случая приближенных вычислений, когда характеристики спектральной чувствительности детекторов считаем идеальными, задача нахождения сигналов низкоэнергетического и высокоэнергетического детекторов сводится к изменению пределов интегрирования в выражении (3) и умножению на постоянный множитель D , определяемый конкретным детектором.

Для получения сигнала низкоэнергетического детектора интегрирование проводим в пределах от 0 до частоты v_1 , тогда выражение примет вид

$$I_{DL} = D_L CiZ (v_0 v_1 - v_1^2) / 2. \quad (4)$$

Для получения сигнала высокоэнергетического детектора интегрирование проводим в пределах от v_1 до частоты v_0 , тогда выражение примет вид

$$I_{DH} = D_H CiZ (v_0 - v_1)^2 / 2. \quad (5)$$

Для вычисления анодного напряжения излучателя необходимо использовать выражения (4) и (5). При этом с учётом чувствительности конкретных детекторов в программу расчета введены коэффициенты калибровки по мощности дозы излучения.

На рис. 1 представлена иллюстрация энергетической зависимости чувствительности детекторов в отдельности и системы вместе.

Первый (низкоэнергетический) детектор с тонким сцинтиллятором имеет спадающий характер спектральной зависимости (кривая *a*), аналог характеристики пропускания фильтра нижних частот. Он служит фильтром для второго детектора, не пропускает на второй (высокоэнергетический) детектор излучение низких энергий. Второй (высокоэнергетический) детектор имеет возрастающий характер спектральной зависимости (кривая *b*), аналог характеристики пропускания фильтра верхних частот. При возрастании анодного напряжения излучателя спектр излученных фотонов как бы «скользит» по спектральным характеристикам системы детекторов.

На рис. 2 изображена блок-схема макета прибора «КРИСТАЛЛ».

Преимущества макетного образца прибора «КРИСТАЛЛ»:

- ✦ применение оригинального 2-энергетического детектора позволяет производить измерения с одинаковой точностью во всем диапазоне напряжений;
- ✦ применение оригинального 2-энергетического детектора, сбалансированного по чувствительности во всем диапазоне энергий, позволяет измерять мощность дозы и дозу с повышенной точностью;
- ✦ размещение блока детекторов (БД) на выносном кабеле обеспечивает удобство измерения и возможность применения различных блоков детекторов (напр., при измерениях на маммографических и дентальных аппаратах).
- ✦ использование компьютера как устройства обработки и индикации позволяет производить модернизацию прибора без изменения конструкции (путем модернизации БД и ПО). Ожидаемые технические характеристики макетного образца прибора «КРИСТАЛЛ»:

Контроль следующих параметров:

- ✦ анодного напряжения на рентгеновской трубке в диапазоне 40÷125 кВ с погрешностью измерения не более $\pm 3\%$ при использовании низкоэнергетического блока детектирования от 20 кВ.

- ✦ времени экспозиции в диапазоне 10 мс ÷ 5 с с погрешностью измерения не более $\pm 3\%$;
- ✦ мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения в диапазоне 6÷200 Р/мин с погрешностью измерения не более $\pm 20\%$;
- ✦ дозы рентгеновского излучения в диапазоне 10÷9999 Гр;
- ✦ питание от персонального компьютера через порт USB.

ВЫВОДЫ

Разработан и испытан макетный образец прибора «КРИСТАЛЛ», который обеспечивает оперативное измерение основных электрических и радиационных параметров рентгенодиагностических аппаратов.

Контроль осуществляется бесконтактным способом по рентгеновскому излучению.

Макетный образец состоит из блока детекторов рентгеновского излучения, предварительных усилителей, аналого-цифрового преобразователя, работает совместно с персональным компьютером, в котором установлена специальная программа.

Разрабатываемый прибор может применяться при проверке, настройке, ремонте и техническом обслуживании рентгенодиагностических аппаратов как в условиях эксплуатации в медицинских учреждениях, так и при приемосдаточных испытаниях на заводах-изготовителях или в ремонтных организациях.

Для создания опытного образца прибора необходимо:

1. Выполнить схему электрическую принципиальную с использованием современных комплектующих, не снятых с производства.
2. Разработать программное обеспечение с удобным для пользователей интерфейсом.
3. Разработать конструкторскую и технологическую документацию.
4. Провести испытания опытного образца в условиях пользователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердяков Г.И., Блинов Н.Н. Типовой ряд радиационных киловольтметров // Медицинская техника. — 2005. — № 5. — С. 19–21.

2. Блинов Н.Н., Костылев В.А., Наркевич Б.Я. Физические основы рентгенодиагностики. — М.: АМФ-Пресс, 2002. — 74 с.
3. www.catalog.mpomed.ru.
4. www.ptw.de.
5. www.rti.se.
6. www.rtielectronics.com.
7. www2.unfors.se.
8. Патент 44 547А Украины. Детектирующая система для рентгеновской интроскопии / В. Рыжиков, Н. Старжинский, Л. Гальчинецкий и др. — Оpubл. 15.02.2002. — Бюл. № 2.
9. Рентгенотехника: Справочник. В 2-х кн. 1./ В.В. Ключев, Ф.Р. Соснин, В. Аертс и др.; Под общ. ред. В.В. Ключева. — 2-е изд., перераб. О доп. — М.: Машиностроение, 1992. — 480 с.

*В.Д. Рыжиков, Б.В. Гриньов, В.Г. Волков,
О.К. Лисецька, С.В. Махота, О.В. Попкова*

ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ

Запропоновано спосіб вимірювання безконтактним методом напруги рентгенівської трубки, потужності експозиційної дози та експозиційної дози. Спосіб базується на використанні оригінального двохенергетичного детекто-

ра рентгенівського випромінювання. На макеті приладу промодельовано вимірювання прискорюючої напруги в діапазоні від 40 до 150 кВ і вимірювання потужності дози з підвищеною точністю, яка досягнута завдяки спеціальній формі спектральних характеристик чутливості елементів детектора.

Ключові слова: рентгенівське випромінювання, анодна напруга, доза, детектор.

*V.D. Ryzhikov, B.V. Grinyov, V.G. Volkov,
E.K. Lisetskaya, S.V. Makhota, E.V. Popkova*

AN INSTRUMENT FOR CONTROL OF PARAMETERS OF X-RAY EMITTERS

The method of noncontact measuring of X-ray tube voltage, exposure dose rate and exposure dose is proposed. It is based on the use of original two-energy X-ray detector. Using a prototype of the device, measurements of accelerating voltages in the 40–150 kV range, as well as measurement of the dose rate with improved accuracy, achieved due to special shape of sensitivity spectral characteristics of the detector elements were modeled.

Key words: X-ray radiation, anode voltage, dose, detector.

Стаття надійшла до редакції 24.12.12