

## Влияние условий генерации рентгеновского излучения на величину коэффициентов приведенного рассеяния при измерениях анодного напряжения

### Аннотация

В статье рассматривается возможность измерения анодного напряжения и суммарной фильтрации излучения по отношению сигналов детекторов, расположенных в полях рассеянного и ослабленного излучений. Приводится структурная схема экспериментального стенда. Представлены экспериментальные результаты, отражающие характер изменения коэффициентов приведенного рассеяния в зависимости от анодного напряжения, суммарной фильтрации излучения, анодных токов, фокусного расстояния и длительности экспозиции.

Соблюдение норм радиационной безопасности предполагает периодическую проверку параметров, отвечающих за формирование дозовых полей рентгенодиагностических аппаратов [1]. В условиях медицинских учреждений оптимальным является использование неинвазивных приборов, измеряющих широкий спектр эксплуатационных параметров по генерируемому излучению [2]. В области радиационного контроля напряжения на рентгеновской трубке известны различные бесконтактные методы и средства измерений [3], [4].

Неинвазивные киловольтметры, внесенные в актуальный перечень средств измерений РФ («RTI Piranha», «Diavolt», УКРЭХ), обеспечивают заявленную точность результатов в заданном интервале расстояний от фокуса рентгеновской трубки до прибора в ограниченных диапазонах анодных токов и значений суммарной фильтрации излучения. Условия измерений обычно оговариваются в эксплуатационной документации на эти приборы.

Так, в работе [5] экспериментально выявлено, что при введении дополнительной фильтрации излучения показания рентгентестера УКРЭХ растут при неизменном значении «уставки» анодного напряжения и оказываются довольно чувствительными к фокусному расстоянию. Таким образом, при разработке новых приборов неинвазивного контроля необходимо исследовать влияние условий генерации излучения на получаемые результаты.

В развитие метода измерений, описанного в [6], в работе [7] предложена рентгенооптическая схема неинва-

зивного киловольтметра с цилиндрическим фантомом, по боковой поверхности которого располагаются детекторы рассеянного излучения (боковые детекторы), а в прямом пучке за фантомом – детекторы ослабленного излучения (фронтальные детекторы). Отношение сигналов детекторов рассеянного и ослабленного излучений задает значение коэффициента приведенного рассеяния (КПР), впервые введенного в [8]. Коэффициент приведенного рассеяния может служить критерием для оценки анодного напряжения и суммарной фильтрации излучения при заданном материале фантома. Для практического использования КПР необходимо иметь калибровочную характеристику, представляющую собой некую гладкую функцию как минимум двух переменных – анодного напряжения и суммарной фильтрации.

Суть метода коэффициентов приведенного рассеяния сводится к нахождению значений КПР для двух точек калибровочной поверхности, смещенных по фильтрации на заданную величину при неизменной уставке напряжения, и к последующему решению системы двух уравнений относительно неизвестных анодного напряжения и суммарной фильтрации. Однако в действительности КПР зависит от большего числа факторов, влияние которых необходимо учитывать.

Целью проведения нашего экспериментального исследования являлось определение характера и степени влияния условий генерации рентгеновского излучения на величину КПР для установления методических ограничений при измерениях анодного напряжения и суммар-

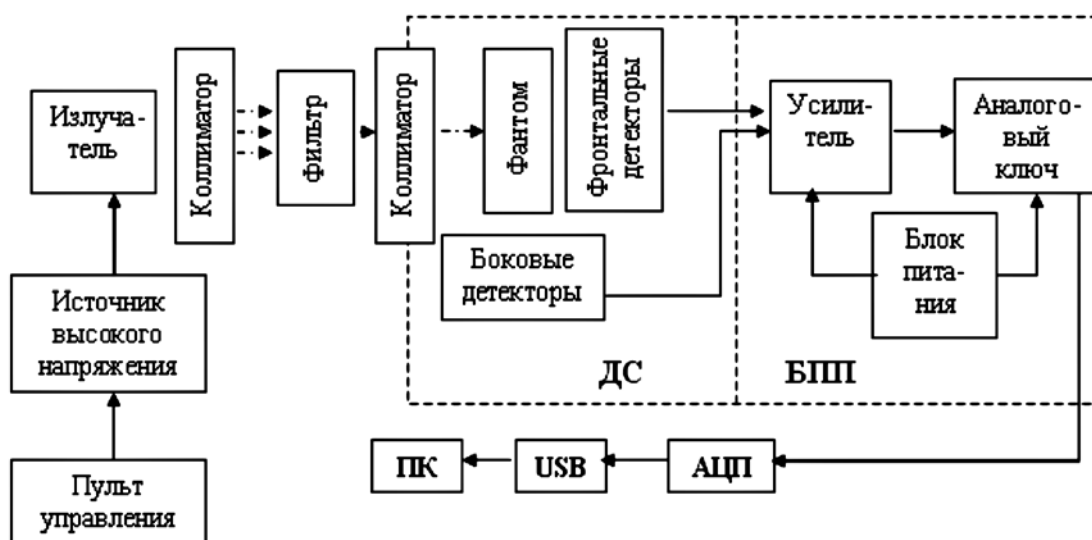


Рис. 1. Структурная схема экспериментального стенда для измерения КПР (сплошные стрелки показывают электрические связи в системе, а штрихпунктирные – связи по излучению)

ной фильтрации излучения методом коэффициентов приведенного рассеяния.

Для достижения поставленной цели необходимо было создать экспериментальный стенд для измерения КПР и исследовать зависимость КПР от анодного напряжения, суммарной фильтрации, фокусного расстояния, анодного тока, времени экспозиции, оценить методические и инструментальные погрешности.

Решение поставленных задач осуществлялось в рамках создания модуля самодиагностики, обеспечивающего обратную связь по излучению для поддержания постоянства радиационных параметров рентгеновского флюорографического аппарата.

В экспериментальном исследовании применялась установка, включающая в себя детекторную секцию (ДС), состоящую из восьми детекторов типа сцинтиллятор-фотодиод, четыре из которых были расположены вдоль боковой поверхности облучаемого фантома и четыре – за его основанием в прямом пучке излучения. В качестве фантома использовался цилиндрический образец из фторопласта-4 высотой 4 см, радиусом 1 см.

Согласно структурной схеме экспериментального стенда (рис. 1), сигналы с ДС обрабатывались блоком первичного преобразования (БПП), обеспечивающим формирование уровней электрических сигналов и их фильтрацию. Трансляция информации в компьютер осуществлялась по USB-интерфейсу многоканальным аналого-цифровым преобразователем В-480 (АЦП). Для возбуждения рентгеновского излучения использовался палатный рентгеновский аппарат с высокочастотным питающим устройством и пультом управления, задающим режимы работы излучателя.

Коллимация рентгеновского пучка осуществлялась штатным коллиматором излучателя и дополнительным коллиматором, установленным непосредственно перед фантомом, что исключало попадание первичного пучка на боковые детекторы.

Общая фильтрация источника рентгеновского излучения включала в себя эквивалентную фильтрацию рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом 0,5 мм Al и фильтрацию коллиматора 1,5 мм Al. Генерация рентгеновского излучения обеспечивалась питающим устройством в диапазоне анодных напряжений 50...100 кВ при анодных токах 5...45 мА.

Экспериментальное исследование состояло в проведении нескольких серий рентгеновских снимков на установка анодного напряжения от 50 до 100 кВ с шагом 10 кВ и дополнительным фильтром из высококачественного алюминия толщиной от 1,8 до 7,2 мм, устанавливаемым с шагом 1,8 мм. В двух сериях измерений добавочные фильтры последовательно размещались в плоскости ДС и в плоскости излучателя. Измерения повторялись при фокусных расстояниях 40, 60, 80, 100, 120 и 140 см.

Первичный массив данных формировался в программном модуле «ADC» [9] в виде текстового файла со значениями напряжения по каждому из детекторных каналов. Последующая обработка производилась средствами математического пакета MathCAD. В среде MathCAD формировались временные диаграммы сигналов с каждого из детекторов, по которым определялось их среднее значение за время экспозиции. Затем рассчитывались коэффициенты приведенного рассеяния как отношения сигналов боковых и фронтальных детекторов. По вычисленным данным строились зависимости КПР от заданных параметров экспозиции.

На рис. 2 представлены зависимости КПР от анодного напряжения, построенные для различных значений дополнительной фильтрации, при неизменных фокусном расстоянии и анодном токе. Полученные кривые хорошо описываются полиномиальной функцией второго порядка. Согласно рисунку, с увеличением анодного напряжения КПР сначала быстро уменьшается и затем на границе диапазона выходит на плато. Таким образом, для используемого в исследовании фантома существует ограничение по чувствительности со стороны больших анодных напряжений. Моделирование, выполненное с помощью программного модуля [10], показывает, что для расширения рабочего диапазона необходим фантом, изготовленный из вещества с более высоким эффективным атомным номером.

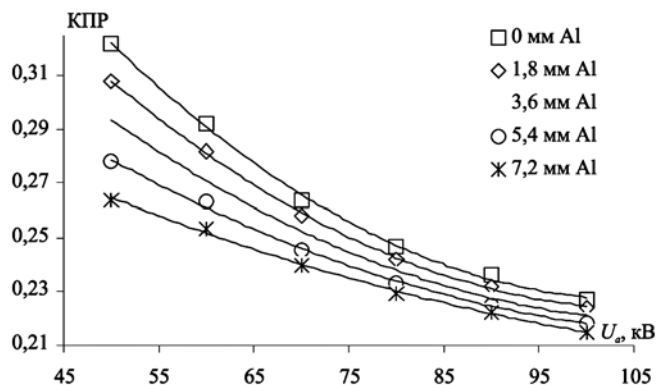


Рис. 2. Экспериментальные зависимости КПР от анодного напряжения при разной толщине дополнительного фильтра

Зависимость КПР от дополнительной фильтрации имеет квазилинейный характер (рис. 3), причем при увеличении суммарной фильтрации наклон кривых уменьшается и чувствительность метода ухудшается.

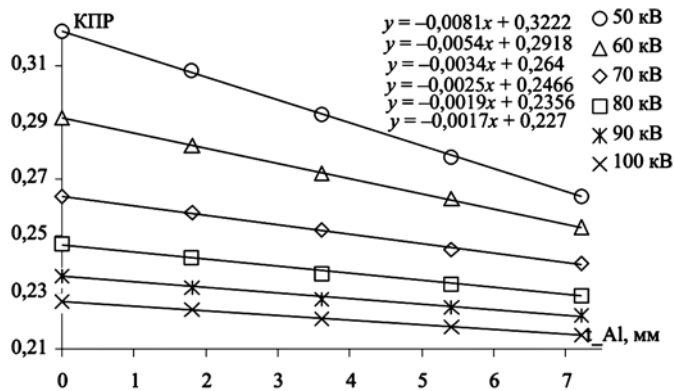


Рис. 3. Экспериментальные зависимости КПР от толщины дополнительного фильтра при разных анодных напряжениях

Отметим, что зависимости, показанные на рис. 2 и 3, получены при размещении дополнительного фильтра в плоскости излучателя. При размещении дополнительного фильтра в плоскости входного окна ДС наблюдается квазилинейный рост КПР с увеличением толщины фильтра, что обусловлено влиянием вторичного излучения, возбуждаемого в материале фильтра.

Оценка инструментальной погрешности стенда была выполнена по экспериментальным данным, полученным при идентичных условиях съемки. В этом случае фокусное расстояние и фильтрация не меняются за время экспозиции, а величина КПР определяется стабильностью

рентгеновского источника, шумами детекторов и электроники. Результаты измерений показали, что инструментальная погрешность не превышает 1,7 % в диапазоне рабочих анодных напряжений и фильтрации.

Измерения, выполненные при фиксированных анодных напряжениях и фильтрации, но для разных фокусных расстояний, выявили, что взаимное расположение излучателя и ДС оказывает сильное влияние на экспериментальные результаты. В качестве примера на *рис. 4* представлены данные, полученные при напряжении 80 кВ и суммарной фильтрации 4 мм Al. Видно, что зависимость КПР от расстояния можно аппроксимировать линейной функцией, отражающей преобладающий тренд изменения КПР. Однако в отличие от зависимостей, представленных на *рис. 2* и *3*, в данном случае наблюдается значительно больший разброс экспериментальных данных. В целом установлено, что при изменении фокусного расстояния в диапазоне от 40 до 140 см КПР меняется в среднем на 3,8 %. Следовательно, влиянием фокусного расстояния пренебречь нельзя. На практике при реализации измерительного устройства фокусное расстояние должно быть фиксированным. Выбор оптимального фокусного расстояния определяется расхождением рентгеновского пучка и величиной сигналов детекторов.

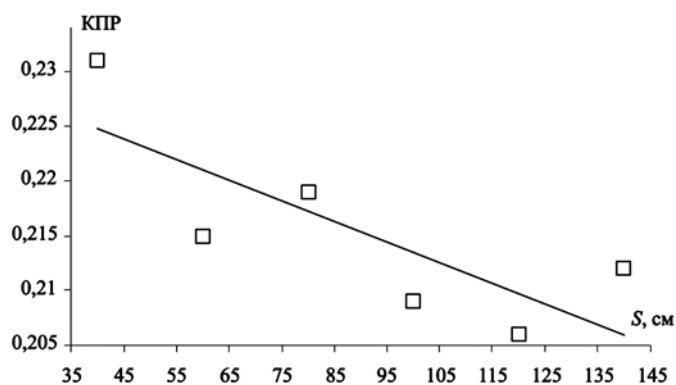


Рис. 4. Зависимость КПР от фокусного расстояния (измерения выполнены при анодном напряжении 80 кВ, суммарной фильтрации 4 мм Al и токе анода 30 мА)

Анализ экспериментальных данных показал, что в условиях нашего измерительного стенда фокусное расстояние должно быть не менее 70 см, поскольку опытным путем установлено, что градиент КПР с увеличением фокусного расстояния сильно меняется в диапазоне до 60 см и почти не меняется в диапазоне от 60 до 110 см.

Исследование влияния длительности экспозиции проводилось при идентичных уставках количества электричества и тока, но различных количествах электричества. В результате установлено, что на значение КПР длительность экспозиции влияния не оказывает. Разброс экспериментальных значений КПР в широком диапазоне длительности снимка (от долей секунды до нескольких секунд) значительно меньше инструментальной погрешности.

Для нахождения зависимости КПР от анодного тока условия съемки оставались неизменными, но менялось значение напряжения на накале рентгеновской трубки. Было установлено, что вариации тока анода в широких пределах от 6,8 до 38,8 мА практически не влияют на величину КПР. Изменения КПР при этом носят случайный характер и не превышают 0,1 %. На практике изменения анодных токов можно не учитывать.

В результате исследования влияния условий возбуждения рентгеновского излучения при измерениях анодного

напряжения и суммарной фильтрации методом коэффициентов приведенного рассеяния установлено, что КПР линейно связан величиной суммарной фильтрации излучения; зависимость КПР от анодного напряжения может быть выражена полиномиальной функцией второго порядка; калибровка системы и последующие измерения должны осуществляться при фиксированном фокусном расстоянии; анодные токи и длительность экспонирования не влияют на величину КПР; чувствительность системы при прочих равных условиях определяется эффективным атомным номером материала используемого фантома.

Метод коэффициентов приведенного рассеяния может использоваться при разработке системы самодиагностики, обеспечивающей непрерывный контроль радиационных параметров флюорографического аппарата с фиксированной геометрией съемки.

#### Список литературы:

- 2.6.1.1192-03 Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований. – М.: ФЦГСЭН, 2003. 76 с.
- Владимиров Л.В., Владимиров Ю.Л., Козлов А.А. Радиационные методы контроля параметров рентгенодиагностических аппаратов // Медицинская техника. 2007. № 5. С. 35-37.
- Владимиров Л.В., Козлов А.А., Лыгин В.А., Рябкин А.Н. Радиационный метод определения напряжения генерирования рентгеновского излучения. Состояние и перспективы // Медицинская техника. 2000. № 5. С. 15-19.
- Муслимов Д.А., Лелюхин А.С. Методы и средства измерения анодного напряжения рентгеновских аппаратов // Медицинская техника. 2011. № 5. С. 15-18.
- Карягин М.А., Петрушанский М.Г., Шилкин Н.Г. Определение суммарной фильтрации рентгеновского аппарата с помощью радиационного киловольтметра / Материалы V Троицкой конференции «Медицинская физика и инновации в медицине» (ТКМФ-5), г. Троицк Московской области, 4-8 июня 2012 г. Сб. материалов. Том 1. С. 373-374.
- Блинов Н.Н. и др. Устройство для определения высокого напряжения на рентгеновской трубке / А. с. № 1536525, кл. Н 05G 1/26, 1990.
- Гамалей К.А., Муслимов Д.А., Скрынников И.Ю., Лелюхин А.С. Определение напряжения генерирования рентгеновского излучения по отношению интенсивностей прямого и рассеянного пучков // V Троицкая конференция «Медицинская физика и инновации в медицине» (ТКМФ-5), г. Троицк, 2012. Сб. материалов. Том 1. С. 411-413.
- Аджиева М.Д., Кувишинов Н.А., Лелюхин А.С., Каньгина О.Н. Оценка пористости материалов по величине коэффициента приведенного рассеяния // Вестник ОГУ. 2012. № 9 (145). С. 118-122.
- Многоканальный аналого-цифровой преобразователь В-480. Руководство по эксплуатации.
- Карягин М.А., Муслимов Д.А., Лелюхин А.С. Модуль расчета коэффициента приведенного рассеяния для модели радиационного киловольтметра / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012618284 от 12.09.2012. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Россия.

Максим Александрович Карягин,  
преподаватель,  
Лелюхин Александр Сергеевич,  
канд. техн. наук, доцент,  
кафедра проектирования и технологии  
радиоэлектронных средств,  
физический факультет,  
Оренбургский государственный университет,  
г. Оренбург,  
e-mail: maxtherion@yandex.ru