

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПУЧКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В работе приведен обзор и анализ существующих методов и средств определения суммарной фильтрации пучка рентгеновского излучения рентгеновских диагностических аппаратов. Рассмотрены достоинства и недостатки описанных методов и их характеристики.

Эффективная эксплуатация рентгеновских диагностических аппаратов (РДА) в лечебно-профилактических учреждениях (ЛПУ), гарантирующая высокое качество диагностики при минимальной дозе облучения, невозможна без выполнения заданных условий исследования [1]. В соответствии с требованиями СанПиН 2.6.1.1192-03 [2] при разработке, производстве, эксплуатации и модернизации РДА необходимо проводить контроль эксплуатационных параметров аппаратов. Одним из основных проверяемых параметров рентгеновского излучателя является суммарная фильтрация пучка (СФП) рентгеновского излучения.

СФП РДА складывается из приведенных к алюминиевому эквиваленту собственной фильтрации излучателя, а также фильтраций коллиматора и дополнительного фильтра. Собственная фильтрация излучателя обусловлена поглощающей способностью анода рентгеновской трубки и фильтрацией выходными средами излучателя. К последним относятся стекло рентгеновской трубки, изоляционное масло, выходное окно излучателя, зеркало и защитное стекло диафрагмы.

Изменение величины СФП при эксплуатации РДА связано с изменением ослабляющих свойств выходных сред излучателя в результате старения и разрушением фокусной дорожки анода рентгеновской трубки, что эквивалентно введению дополнительного фильтрующего слоя на пути первичного пучка излучения от неповрежденного анода [3].

Необходимость контроля СФП обусловлена сильным влиянием этого параметра на радиационный выход РДА. Например, изменение СФП на $\pm 10\%$ относительно 2,5 мм алюминиевого эквивалента приводит к изменению радиационного выхода на $\pm 13\%$ [4]. В то же время, СФП влияет и на спектральный состав генерируемого рентгеновского излучения, а, следовательно, и на его проникающую способность.

Поэтому этот параметр определяет дозиметрические характеристики излучения, от которых зависят величина дозы облучения пациента [5] и качество получаемого рентгеновского изображения [6].

Кроме того, контроль СФП необходим при определении параметров преобразователей рентгеновского изображения [7]. Действительно, несоблюдение требований к качеству излучения приводит к существенным отличиям результатов испытаний преобразователей изображения от их реальных параметров [8].

Рассмотрим некоторые методы измерения СФП. Прямое измерение собственной фильтрации рентгеновского излучателя в процессе эксплуатации практически невозможно [8]. Из-за этого на практике чаще всего пользуются данными заводских испытаний, указанными в документах на РДА. При отсутствии такой информации рассчитывают собственную фильтрацию рентгеновского излучателя суммированием значений эквивалентной фильтрации от каждого слоя материала излучателя [9]. Низкая точность такого расчетного метода объясняется неизбежным отклонением принятых в расчетах толщин и состава поглощающих сред излучателя от их действительных значений, а также сложностью учета вклада в величину СФП анода рентгеновской трубки, в том числе за счет износа его поверхности.

В стандарте ГОСТ Р МЭК 60522–2001 «Излучатели рентгеновские. Методы определения постоянной фильтрации» [10] рекомендуется измерять собственную фильтрацию рентгеновского излучателя путем подбора толщины слоя опорного материала. Указанная толщина должна обеспечивать такой же слой половинного ослабления мощности экспозиционной дозы излучения, что и контролируемый рентгеновский излучатель при тех же условиях. Слой опорного материала должен быть расположен при этом как можно ближе к фокусному пятну.

Подобно вышеупомянутому методу, рекомендуемый в стандарте метод характеризуется невысокой точностью ввиду возможного отклонения параметров слоя опорного материала от значений соответствующих параметров поглощающих сред исследуемого рентгеновского излучателя. Кроме того, методу присуща сложность реализации, возникающая из-за необходимости расположения слоя опорного материала как можно ближе к фокусному пятну.

В отличие от рассмотренного, в работе [11] был предложен другой способ определения СФП. Известно [6], что интегральная интенсивность J фильтрованного тормозного рентгеновского излучения определяется эмпирическим выражением

$$J = C \cdot Z \cdot i_a \cdot U_a^m, \quad (1)$$

где C - постоянный коэффициент, Z - атомный номер материала анода, i_a - анодный ток, U_a - анодное напряжение, m - показатель степени. Для нефильтрованного излучения $m = 2$. В описываемом способе использовано свойство графиков зависимости степенного показателя m функции (1) от толщины ослабляющих фильтров, построенных для нескольких значений анодного напряжения (рисунок 1), пересекаться в одной точке при $m = 2$, что соответствует нефильтрованному излучению.

Графики строятся по найденным величинам поглощения излучения тестовыми фильтрами различной толщины при нескольких значениях анодного напряжения путем измерения экспозиционной дозы за фильтрами и без них. По положению точки пересечения графиков в области левее начала отсчета определяют толщину фильтра, эквивалентную собственной фильтрации излучателя.

Результаты измерений СФП этим методом зависят от точности задания анодного напряжения. Кроме того, получение данных для построения графиков, представленных на рисунке 1, с помощью дозиметра и набора тестовых фильтров разной толщины сопровождается относительно большой погрешностью и в условиях эксплуатации РДА является достаточно трудоемким процессом.

Еще один метод, связанный с нахождением величин поглощения излучения тестовыми фильтрами различной толщины, основан на известной связи трех величин, а именно: анодного напряжения U_a на рентгеновской трубке, первого слоя половинного ослабления $\Delta_{1/2}$ и сум-

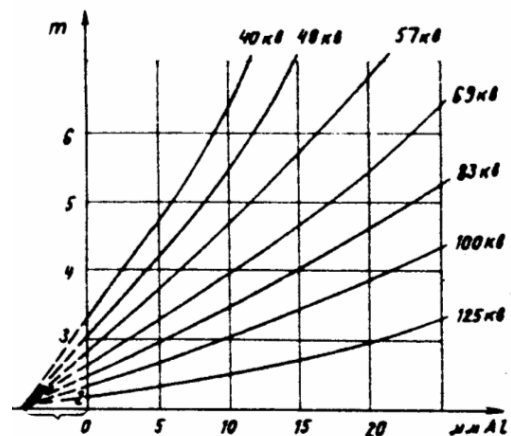


Рисунок 1. Графики зависимости степенного показателя функции интенсивность излучения – анодное напряжение от толщины ослабляющих фильтров для нескольких значений анодного напряжения [11].

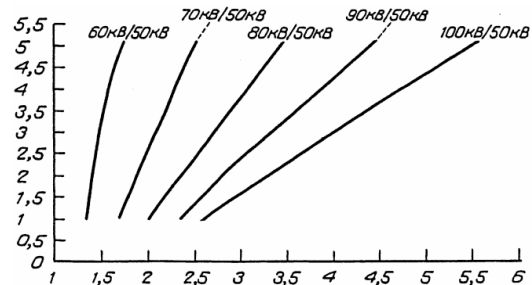


Рисунок 2. Графики зависимости значения собственной фильтрации рентгеновского излучателя (по оси ординат, в мм Al) от отношения мощностей доз на выходе излучателя при разных величинах анодного напряжения (по оси абсцисс) [8].

марной толщины d_f проходимого излучением предварительного фильтра, включая СФП [12]:

$$U_a = f(\Delta_{1/2}, d_f). \quad (2)$$

В приборе Barracuda [13] последняя определяется по измеренному значению первого слоя половинного ослабления $\Delta_{1/2}$ и априорно известной величине анодного напряжения U_a . Диапазон измеряемой СФП с помощью этого прибора составляет от 1,5 до 38 мм в алюминиевом эквиваленте при погрешности измерения $\pm 10\%$ или $\pm 0,3$ мм для величин анодного напряжения от 60 до 120 кВ [13].

Менее трудоемкий метод, не требующий использования дополнительных фильтров и построения графиков ослабления излучения в этих фильтрах, изложен в [8]. Для определения СФП этим методом находят отношение измеренных при одинаковом анодном токе мощностей доз P_{U_a}/P_{50} на выходе излучателя при величине анодного напряжения U_a , боль-

Таблица 1. Качественные сравнительные характеристики различных методов определения собственной фильтрации рентгеновского излучения РДА

Название метода	Диапазон измерения собственной фильтрации рентгеновского излучения РДА	Погрешность	Зависимость результатов от погрешности задания величины анодного напряжения	Трудоемкость (стоимость)	Источник информации
Метод измерения по толщине материалов	Не нормирован	Высокая	Нет	Низкая (низкая)	[9]
Метод измерения по слою опорного материала	Не нормирован	Высокая	Есть	Средняя (средняя)	[10]
Метод измерения по точке пересечения графиков степени функции (2)	Не нормирован	Средняя	Есть	Высокая (средняя)	[11]
Метод измерения по слою половинного ослабления	1,5-38 мм Al	±10% или ±0,3 мм Al	Есть	Высокая (высокая)	[13]
Метод измерения по отношению мощностей доз для разных анодных напряжений	Не нормирован	Средняя	Есть	Средняя, (средняя)	[8]

шей 50 кВ, и при величине анодного напряжения 50 кВ. По экспериментальным зависимостям P_{U_a}/P_{50} , представленным на рисунке 2, для полученного значения P_{U_a}/P_{50} находят величину СФП.

Результаты измерений СФП этим методом зависят от точности измерения и построения эталонных зависимостей (рисунок 2) и от погрешностей задания анодного напряжения.

Для сравнительного анализа рассмотренных выше методов определения СФП РДА их качественные характеристики сведены в таблицу 1.

Анализ качественных характеристик позволяет сделать следующие выводы:

1. В большинстве рассмотренных выше работ по методам определения СФП РДА, включая ГОСТ Р МЭК 60522–2001 «Излучатели рентгеновские. Методы определения постоянной фильтрации» [10], не представлены величины и методы определения погрешностей измерения СФП.

2. В настоящее время обслуживающий персонал РДА в ЛПУ нуждается в относительно простом, дешевом и достаточно точном методе определения СФП РДА, на результаты измерения которым не оказывает влияния погрешность задания величины анодного напряжения аппарата.

3. Для решения этой актуальной проблемы представляется целесообразным провести исследования по поиску достаточно простого и точного метода измерения СФП, свободного от влияния погрешности задания величины анодного напряжения РДА.

Список использованной литературы:

1. Блинов Н.Н., Костылев В.А., Наркевич Б.Я. Физические основы рентгенодиагностики. – М.: АМФ-Пресс, 2002. – 74 с.
2. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований: СанПиН 2.6.1.1192-03. – М., 2003.
3. Ставицкий Р.В., Блинов Н.Н., Рабкин И.Х., Лебедев Л.А. Радиационная защита в медицинской рентгенологии. – М.: Кабур, 1994. – 272 с.
4. Медицинская рентгенология: технические аспекты, клинические материалы, радиационная безопасность. / Под ред. Р.В. Ставицкого. – М.: МНПИ, 2003. – 344 с.
5. Ставицкий Р.В., Павлова М.К., Лебедев Л.А., Кальницкий С.А. Дозовые нагрузки на детей при рентгенологических исследованиях. – М.: КАБУР, 1993. – 164 с.
6. Основы рентгенодиагностической техники. / Под ред. Н.Н. Блинова. – М.: Медицина, 2002. – 392 с.
7. Стандарт предприятия 01-22-04. Приемники рентгеновского изображения рентгеновских диагностических аппаратов с цифровой регистрацией изображений. Номенклатура параметров и характеристик качества изображения, методы и средства их определения. – М., 2004.
8. Владимиров Л.В., Козлов А.А. Определение суммарной фильтрации и слоя половинного ослабления в рентгенодиагностических аппаратах по относительному радиационному выходу. // Медицинская техника. – 2004. – №5. – С. 22–25.
9. Изделия медицинские электрические. Часть 1. Общие требования безопасности. 3. Общие требования к защите от излучения в диагностических рентгеновских аппаратах: ГОСТ Р 50267.0.3–99 (МЭК 60601–94). – М., 2000.
10. Излучатели рентгеновские. Методы определения постоянной фильтрации: ГОСТ Р МЭК 60522–2001. – М., 2001.
11. Блинов Н.Н. Способ определения собственной фильтрации рентгеновского излучения. А.с. СССР №843321, кл. H05 G 1/26, 1981.
12. Conversion tables between HVL and Total Filtration. Application Note 1-AN-52020-11. RTI Electronics AB, Sweden. Revision A, February 2005. – 4 p.
13. Barracuda. All you need for X-ray QA and Service. <http://www.rti.se>