

М.Г. Петрушанский

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ К ВЕЛИЧИНАМ СУММАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПУЧКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Аннотация

В статье рассмотрены и сопоставлены между собой требования различных стандартов к допустимым величинам суммарной фильтрации пучка рентгеновского излучения рентгенодиагностических аппаратов. Проведен сравнительный анализ требований, выявлены значительные разногласия сопоставленных стандартов.

Величина суммарной фильтрации пучка рентгеновского излучения нормирована соответствующими стандартами и не может быть сколь угодно малой, поскольку эта фильтрация должна ослаблять низкоэнергетическую составляющую спектра излучения, выходящего из рентгеновского излучателя, и тем самым уменьшать дозовую нагрузку на пациента [1]. Не затрагивая вопросы получения и обоснования конкретных значений, рассмотрим и сопоставим между собой требования различных стандартов к допустимым величинам суммарной фильтрации пучка.

Минимальная величина суммарной фильтрации пучка рентгеновского излучения определена в ГОСТ Р 50267.0.3-99 [2], содержащем общие требования к защите от излучения в рентгенодиагностических аппаратах. В то же время в Российской Федерации продолжает действовать ГОСТ 26140-84* [3], куда также включены сведения о допустимых величинах суммарной фильтрации пучка. Требования указанных стандартов представлены в *табл. 1*.

Из *табл. 1* видно, что, хотя требования стандартов различаются, более поздний ГОСТ Р 50267.0.3-99 [2] не противоречит ранее введенному в действие ГОСТ 26140-84 [3] и по некоторым позициям даже ужесточает его требования. Например, для рентгеновских аппаратов, верхняя граница рабочего диапазона анодного напряжения которых может превышать 70 кВ, при номинальном анодном напряжении до 70 кВ ограничение по ГОСТ Р 50267.0.3-99 [2] «не менее 2,5» включает в себя значение «1,5» по ГОСТ 26140-84 [3]. Здесь следует, однако, сделать уточнение. Стандартом ГОСТ Р 50267.0.3-99 [2] предписано определять фильтрацию при номинальном анодном напряжении, если оно меньше 70 кВ, и при анодном напряжении 70 кВ, если номинальное анодное напряжение больше 70 кВ. Открытым поэтому остается вопрос о нормировании минимально допустимой величины суммарной фильтрации излучения по ГОСТ Р 50267.0.3-99 [2] при величинах анодного напряжения, больших 70 кВ. Очевидно, что эта минимально допустимая

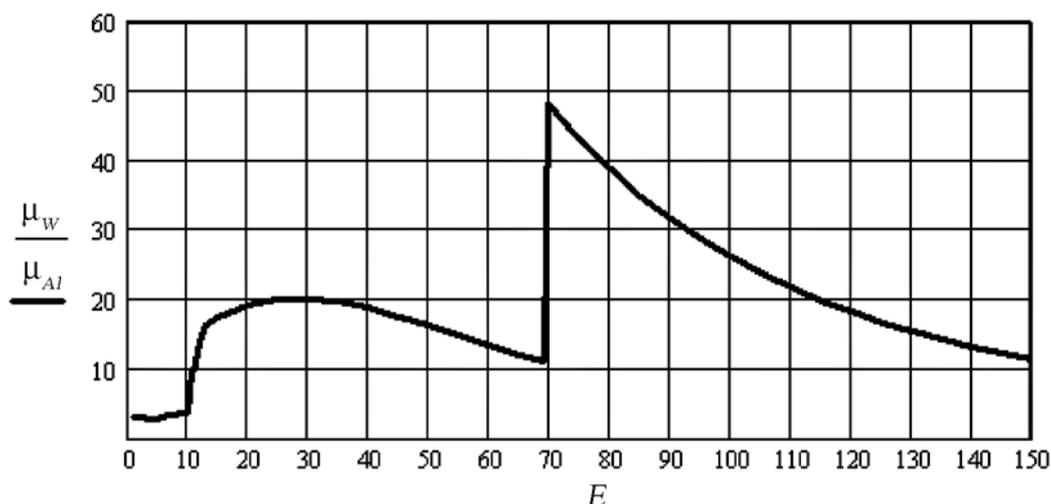


Рис. 1. График зависимости отношения массовых коэффициентов ослабления рентгеновского излучения для вольфрама и алюминия μ_W / μ_{Al} (отн. ед.) от энергии E (кэВ) излучения

* ГОСТ 26140-84 в значительной степени устарел и нуждается в пересмотре (прим. редактора).

Допустимые величины суммарной фильтрации излучения при различных значениях анодного напряжения

Область применения	Значение анодного напряжения, кВ		Минимально допустимая величина суммарной фильтрации, мм Al	
	Рабочий диапазон	Выбранное значение	по ГОСТ 26140-84	по ГОСТ Р 50267.0.3-99
Стоматология	От 50 до 70	От 50 до 70	1,5	
	От 50 до 125	До 70	1,5	2,5
		От 70 до 80	2,0	?
		От 80 до 100	3,0	
		От 100 до 125	4,0	
Другие применения	От 30 и выше	До 70	1,5	2,5
		От 70 до 80	2,0	?
		От 80 до 100	3,0	
		От 100 до 125	4,0	
		От 125	5,0	

величина с ростом анодного напряжения должна увеличиваться. Это происходит из-за принятой в рентгенотехнике замены всего набора фильтрующих излучение сред эквивалентным по ослаблению излучения слоем алюминия. Большинство из указанных сред (стекло рентгеновской трубки, изоляционное масло, выходное окно излучателя, зеркало и защитное стекло диафрагмы) имеют эффективный атомный номер, близкий к атомному номеру алюминия. Массовые коэффициенты ослабления излучения перечисленных веществ близки во всем диапазоне энергий рентгеновского излучения, применяемого в рентгенодиагностических аппаратах. Иначе обстоит дело с вольфрамом, из которого изготовлен анод рентгеновской трубки и который существенно увеличивает фильтрацию излучения вблизи энергии К-края. На *рис. 1* приведен график зависимости отношения массовых коэффициентов ослабления рентгеновского излучения для вольфрама и алюминия μ_W / μ_{Al} от энергии E излучения (по данным [4]).

Из графика видно, что отношение μ_W / μ_{Al} может быть принято постоянным только для узкого диапазона энергий излучения – от 15 до немногим более 65 кэВ, а затем резко возрастает. Поэтому только для этого диапазона энергий можно заменить весь набор фильтрующих излучение сред эквивалентным по ослаблению излучения слоем алюминия, толщина которого остается практически неизменной для любой энергии данного диапазона. При увеличении анодного напряжения выше значения 69 кВ вольфрамовая составляющая фильтрующих излучение сред будет давать все большее значение в алюминиевом эквиваленте и результирующая величина суммарной фильтрации излучения также будет увеличиваться. Поэтому соответствующие ячейки *табл. 1* вместо конкретных значений содержат знак вопроса.

Кроме прямых ограничений минимальной величины суммарной фильтрации пучка в ГОСТ Р

50267.0.3-99 [2] сказано, что величина суммарной фильтрации излучения должна быть достаточной для обеспечения оговоренного в данном стандарте минимально допустимого первого слоя половинного ослабления. Используя эти сведения, можно найти соответствующие значения суммарной фильтрации пучка рентгеновского излучения. В работе [5] приведен вариант сопоставления указанных значений первого слоя половинного ослабления и минимально допустимых величин суммарной фильтрации. Последние были определены с использованием сведений из [1] о связи первого слоя половинного ослабления и величины суммарной фильтрации. Из представленной в работе [5] *табл. 2* видно, что только 2 из 27 полученных для разных величин анодного напряжения значений минимально допустимой суммарной фильтрации удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 50267.0.3-99 [2] и ГОСТ 26140-84 [3]. Эти значения соответствуют стоматологическому исследованию с внутривидеометрическим приемником рентгеновского изображения при величинах анодного напряжения 50 и 60 кВ на рентгеновском аппарате с рабочим диапазоном от 50 до 70 кВ (первая и вторая строки значений в *табл. 2* работы [5]). Величины суммарной фильтрации в остальных строках таблицы меньше допустимых значений. Можно предположить, что это расхождение обусловлено применением недостоверных сведений о связи первого слоя половинного ослабления и величины суммарной фильтрации пучка рентгеновского излучения из [1].

Уточненные сведения о зависимости суммарной фильтрации пучка от первого слоя половинного ослабления и анодного напряжения можно получить, используя найденное в работе [6] выражение, позволяющее вычислить значение суммарной фильтрации пучка рентгеновского излучения по известным или измеренным величинам первого слоя половинного ослабления и анодного напряжения рентгенодиагностического аппарата.

Таблица 2

Допустимые величины суммарной фильтрации излучения при различных значениях анодного напряжения

Область применения	Значение анодного напряжения		Минимально допустимая величина суммарной фильтрации, мм Al			
	Рабочий диапазон, кВ	Выбранное значение, кВ	по ГОСТ Р 50267.0.3-99, п. 29.201.2	по ГОСТ Р 50267.0.3-99, п. 29.201.5	по ГОСТ 26140-84, п. 2.4.25	
Стоматология с внутриротовым приемником рентгеновского изображения	От 50 до 70 включительно	50	2,41	1,5	1,5	
		60	1,94			
		70	1,67			
	От 50 до 90 включительно	50	2,41	2,5	1,5	
		60	2,53			
		70	2,66			
		80	2,64			
		90	2,64			
Другие применения в стоматологии	От 50 до 70 включительно	50	1,72	1,5	1,5	
		60	1,59			
		70	1,67			
	От 50 до 125 включительно	50	2,41	2,5	1,5	
		60	2,53			
		70	2,66			
		80	2,64			
		90	2,64			
		100	2,63			
		110	2,75			
		120	2,75			
		125	2,75			
	Другие применения	От 30 и выше	30	2,75	2,5	1,5
			40	2,36		
			50	2,41		
60			2,53			
70			2,66			
80			2,64			
90			2,64			
100			2,63			
110			2,75			
120			2,75			
130			2,85			
140			2,94			
150			3,01			

В табл. 2 приведены минимально допустимые величины суммарной фильтрации, содержащиеся в ГОСТ Р 50267.0.3-99 [2] и ГОСТ 26140-84 [3], а также определенные по минимально допустимым значениям первого слоя половинного ослабления из стандарта [2] с использованием указанного выражения.

Анализируя данные, представленные в табл. 2, можно сделать ряд важных выводов. Во-первых, для значений анодного напряжения, превышающих 80 кВ, более поздний ГОСТ Р 50267.0.3-99 [2] значительно ослабляет требования по минимально допустимой фильтрации излучения по сравнению

с ранее введенным ГОСТ 26140-84 [3]. И это в то время, когда насущной стала необходимость усиления первичной фильтрации в цифровых рентгеновских системах [7], приводящая к уменьшению дозовой нагрузки на пациента (а современные системы способны работать с таким сильно фильтрованным излучением).

Во-вторых, даже внутри одного ГОСТ Р 50267.0.3-99 [2] наблюдаются явные разногласия. Требуемые в пунктах 29.201.2 и 29.201.5 этого стандарта минимально допустимые величины суммарной фильтрации для ряда значений анодного напряжения оказываются разными.

В третьих, такое разнообразие и неоднозначность требований дает возможность производителям и продавцам медицинской техники в каждом конкретном случае использовать наиболее подходящий вариант нормирования и измерения какого-либо параметра [8]. Более того, эта неопределенность порождает дальнейшие противоречия. В качестве примера в *табл. 3* приведены значения первого слоя половинного ослабления в алюминии для ряда величин анодного напряжения, содержащиеся в стандарте ГОСТ Р МЭК 61267-2001 [9]. Указанные значения соответствуют стандартным качествам излучения в пучке, выходящем из рентгеновского излучателя (RQR). Кроме того, в *табл. 3* приведены полученные с использованием указанного выше выражения значения суммарной фильтрации пучка рентгеновского излучения излучателя, использованного в качестве стандартного для ГОСТ Р МЭК 61267-2001 [9].

Таблица 3

Величины первого слоя половинного ослабления и суммарной фильтрации излучения при различных значениях постоянного анодного напряжения

Значение анодного напряжения, кВ	Величина первого слоя половинного ослабления, мм Al	Величина суммарной фильтрации излучения, мм Al
40	1,0	1,75
50	1,5	2,41
60	2,0	2,97
70	2,5	3,44
80	2,9	3,67
90	3,3	3,88
100	3,7	4,08
120	4,5	4,41
150	5,7	4,78

Из *табл. 3* видно, что не все приведенные в стандарте условия соответствуют требованиям, представленным в *табл. 2*. Например, величина суммарной фильтрации при анодном напряжении 40 кВ меньше соответствующего значения по ГОСТ Р 50267.0.3-99 [2], а при 150 кВ – меньше значения по ГОСТ 26140-84 [3]. Однако получаемые при этих условиях излучения предназначены, в частности, для определения свойств ослабления вспомогательного оборудования. А в реальных условиях данное оборудование должно эксплуатироваться при других условиях и, следовательно, его характеристики будут совсем другими.

Выходом из сложившейся ситуации, как отмечено в работе [8], может стать только разработка системы обеспечения единства представления, нормирования и контроля основных параметров рентгенодиагностических аппаратов, к которым в первую очередь, согласно СанПиН 2.6.1.1192-03 [10], и относится суммарная фильтрация пучка рентгеновского излучения.

Список литературы:

1. Рентгенотехника. Справочник. В 2-х кн. Кн. 1 / Под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1992.
2. ГОСТ Р 50267.0.3-99 (МЭК 60601-94) Изделия медицинские электрические. Часть 1. Общие требования безопасности. 3. Общие требования к защите от излучения в диагностических рентгеновских аппаратах.
3. ГОСТ 26140-84 Аппараты рентгеновские медицинские. Общие технические условия.
4. Berger M.J. and Hubbell J.H. XCOM: Photon Cross Sections on a Personal Computer / National Bureau of Standards. 1999. Version 3.1.
5. Владимиров Л.В., Козлов А.А. Определение суммарной фильтрации и слоя половинного ослабления в рентгенодиагностических аппаратах по относительному радиационному выходу // Медицинская техника. 2004. № 5.
6. Петрушанский М.Г. Метод расчета суммарной фильтрации пучка рентгеновского излучения рентгеновского аппарата / III Евразийский конгресс по медицинской физике и инженерии «Медицинская физика-2010». Сб. материалов. Том 1. – М., 2010.
7. Блинов Н.Н., Мазуров А.И. Новые реальности в современной рентгенотехнике // Медицинская техника. 2003. № 5.
8. Блинов Н.Н. Обеспечение качества в лучевой диагностике // Медицинская техника. 2009. № 5.
9. ГОСТ Р МЭК 61267-2001 Аппараты рентгеновские медицинские диагностические. Условия излучения при определении характеристик.
10. СанПиН 2.6.1.1192-03 Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований.

*Михаил Георгиевич Петрушанский,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра проектирования и технологии
радиоэлектронных средств,
ГОУ ВПО «Оренбургский
государственный университет»,
г. Оренбург,
e-mail: pmg74@inbox.ru*

* * * * *