ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 62220-1-3— 2013

Изделия медицинские электрические

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВЫХ ПРИЕМНИКОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Часть 1–3

Определение квантовой эффективности регистрации Приемники, работающие в динамическом режиме получения изображений

IEC 62220 - 1 - 3:2008
Medical electrical equipment – Characteristics of digital X-ray imaging devices – Part 1 - 3: Determination of the detective quantum efficiency – Detectors used in dynamic imaging
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2015

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский и испытательный институт медицинской техники» Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения и социального развития (ФГБУ «ВНИИИМТ» Росздравнадзора) на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 411 «Аппараты и оборудование для лучевой терапии, диагностики и дозиметрии»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 мая 2013 г. № 75-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 62220 – 1 – 3:2008 «Изделия медицинские электрические. Характеристики цифровых приемников рентгеновского изображения. Часть 1 - 3. Определение квантовой эффективности регистрации. Приемники, работающие в динамическом режиме получения изображений» (IEC 62220 -1 - 3:2008 Medical electrical equipment – Characteristics of digital X-ray imaging devices – Part 1 - 3: Determination of the detective quantum efficiency – Detectors used in dynamic imaging).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок – в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.ru)

© Стандартинформ, 2015

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Изделия медицинские электрические

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВЫХ ПРИЕМНИКОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Часть 1 – 3

Определение квантовой эффективности регистрации. Приемники, работающие в динамическом режиме получения изображений

Medical electrical equipment. Characteristics of digital X-ray imaging devices.
Part 1-3. Determination of the detective quantum efficiency

Дата введения — 2015—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод оценки КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ (DQE) ЦИФРОВЫХ ПРИЕМНИКОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ как функции КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ и ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ при определенных рабочих условиях, соответствующих рекомендованным изготовителем для применения в клинической практике. Предполагаемыми пользователями настоящего стандарта являются изготовители и соответствующим образом укомплектованные испытательные лаборатории.

Настоящий стандарт распространяется на ЦИФРОВЫЕ ПРИЕМНИКИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, которые используются при работе в динамическом режиме получения изображений при рентгеноскопии (например, на плоские панели на основе аморфного кремния или селена, хотя возможны и приемники других типов).

Настоящий стандарт не рекомендуется применять к системам на основе УСИЛИТЕЛЕЙ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ.

Примечание – Данная рекомендация обусловлена следующими причинами: низкая граничная частота, наличие виньетирования и геометрических искажений. Указанные факторы могут сильно ограничивать применение методов измерения, описанных в настоящем стандарте.

Настоящий стандарт не распространяется:

– на ЦИФРОВЫЕ ПРИЕМНИКИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, предназначенные для использования в маммографии или в дентальной рентгенографии;

– на КОМПЬЮТЕРНУЮ ТОМОГРАФИЮ;

– на системы, в которых осуществляется сканирование рентгеновским лучом поперек (вдоль) тела пациента.

Примечание – На устройства, отмеченные выше, стандарт не распространяется, поскольку они обладают набором параметров, отличающих их от систем, работающих в динамическом режиме получения данных (например, качество рентгеновского пучка, геометрия, временные характеристики и т.д.). Некоторые из этих устройств рассмотрены в других стандартах (МЭК 62220 - 1, МЭК 62220 - 1 - 2).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие международные стандарты:

МЭК 60336 Излучатели медицинские рентгенодиагностические. Характеристики фокусных пятен (IEC 60336 Medical electrical equipment - X-ray tube assemblies for medical diagnosis - Characteristics of focal spots)

Издание официальное

МЭК/ТР 60788:2004 Изделия медицинские электрические. Словарь (IEC/TR 60788:2004 Medical electrical equipment - Glossary of defined terms)

МЭК 61267:1994 Аппараты рентгеновские медицинские диагностические. Условия излучения при определении характеристик (IEC 61267:1994 Medical diagnostic X-ray equipment - Radiation conditions for use in the determination of characteristics)

ИСО 12232:1998 Фотография. Цифровые фотокамеры. Определение экспозиционного индекса, значений светочувствительности по ИСО, стандартной чувствительности на выходе и рекомендуемого экспозиционного индекса (ISO 12232:1998 Photography - Electronic still-picture cameras - Determination of ISO speed)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по МЭК/ТР 60788, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **ЦЕНТРАЛЬНАЯ ОСЬ** (CENTRAL AXIS): Линия, перпендикулярная к ПЛОСКОСТИ ПРИЕМНИКА ИЗОБРАЖЕНИЯ и проходящая через центр входного поля.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.1]

3.2 **ФУНКЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ** (CONVERSION FUNCTION): Зависимость выходного сигнала ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ (ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ (DN) – значения яркости элементов изображения), полученного усреднением по большой области изображения, от числа рентгеновских квантов на единицу площади Q в ПЛОСКОСТИ ПРИЕМНИКА ИЗОБРАЖЕНИЯ.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.2]

Примечания

1 Значение Q вычисляют как произведение экспозиционной дозы во входной плоскости детектора (при исключении обратного рассеяния) на значение SNR_{in}^2, приведенное в таблице 3.

2 Многие лаборатории, например, национальных метрологических институтов, калибруют ДОЗИМЕТРЫ для измерения КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ.

3.3 **КВАНТОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ;** DQE(u,v) [DETECTIVE QUANTUM EFFICIENCY, DQE(u,v)]: Отношение двух функций, каждая из которых представляет собой СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА (NPS); причем в числителе стоит СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА входного сигнала (на ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА), пропущенный через фильтр с характеристикой, которая задается передаточной функцией системы, а в знаменателе – СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА выходного сигнала, измеренный с использованием ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.

Примечание – Вместо двухмерной функции КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ часто представляют сечение двухмерной функции вдоль оси, соответствующей одной из пространственных частот.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.3]

3.4 **ПОВЕРХНОСТЬ ДЕТЕКТОРА** (DETECTOR SURFACE): Доступная поверхность, являющаяся самой близкой к плоскости рентгеночувствительных элементов детектора.

Примечание – После удаления всех элементов (включая, ОТСЕИВАЮЩИЙ РАСТР и компоненты для АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗОЙ, в случае их применения). Если они могут быть аккуратно удалены из ПУЧКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ без повреждения цифрового рентгеновского детектора.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.4]

3.5 **ЦИФРОВОЙ ПРИЕМНИК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ** (DIGITAL X-RAY IMAGING DEVICE): Устройство, состоящее из цифрового рентгеновского детектора, включая защитные слои, используемые на практике, электронику для усиления и оцифровки сигналов и компьютера, формирующего ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ изображения.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.5]

3.6 **МАТРИЦА ИЗОБРАЖЕНИЯ** (IMAGE MATRIX): Расположение элементов матрицы, предпочтительно в прямоугольной (декартовой) системе координат.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.6]

3.7 **ОСТАТОЧНЫЙ СИГНАЛ** (LAG EFFECT): Влияние предыдущего изображения на текущее.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.7]

3.8 **ЛИНЕАРИЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ** (LINEARIZED DATA): ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ, к которым применена ФУНКЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.8]

Примечание – Размерность ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ ДАННЫХ прямо пропорциональна значению КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ.

3.9 **ФУНКЦИЯ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ;** MTF(*u,v*) [MODULATION TRANSFER FUNCTION, MTF(u,v)]: Модуль комплексной (в общем случае) оптической функции передачи, представляющей собой функцию ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЧАСТОТ *u* и *v*.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.9]

3.10 **ШУМ** (NOISE): Флюктуации ожидаемого значения стохастического процесса.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.10]

3.11 **СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА** (NPS), *W*(*u,v*) [NOISE POWER SPECTRUM, (NPS), *W*(*u,v*)]: Модуль преобразования Фурье автоковариационной функции ШУМА. Мощность ШУМА, заключенная в двухмерном частотном интервале, как функция двух ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЧАСТОТ.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.11]

Примечание – В специальной литературе СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА часто называют «спектром Винера» в честь математика Норберта Винера.

3.12 **ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ;** DN (ORIGINAL DATE, DN): НЕОБРАБОТАННЫЕ ДАННЫЕ, к которым применены только допускаемые настоящим стандартом виды корректирующей обработки.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.12]

3.13 **ФЛЮЕНС *Q*** (PHOTON FLUENCE *Q*)Среднее число фотонов на единицу площади.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.13]

3.14 **НЕОБРАБОТАННЫЕ ДАННЫЕ** (RAW DATE): Значения сигналов яркости каналов (пикселей), считанные непосредственно после аналого-цифрового преобразования в ЦИФРОВОМ ПРИЕМНИКЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ или вычисленные для систем, являющихся счетчиками квантов, без какой-либо коррекции с использованием программного обеспечения.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.14]

3.15 **ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЧАСТОТА *u*** или ***v*** (SPATIAL GFREQUENCY *u* or *v*): Величина, обратная периоду повторения анализируемого объекта в пространстве. Размерность ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ – величина, обратная линейному размеру.

[МЭК 62220 - 1:2003, определение 3.15]

4 Требования

4.1 Рабочие условия

ЦИФРОВОЙ ПРИЕМНИК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ следует хранить и эксплуатировать в соответствии с рекомендациями предприятия-изготовителя. Время прогрева должно быть выбрано в соответствии с рекомендациями предприятия-изготовителя. Рабочие условия при проведении испытаний должны быть такими же, как и для клинических исследований (включая частоту следования кадров) и должны поддерживаться постоянными в течение испытаний, которые описаны ниже.

Климатические условия в помещении, где эксплуатируется ЦИФРОВОЙ ПРИЕМНИК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, должны быть приведены в отчете вместе с результатами испытаний.

4.2 РЕНТГЕНОВСКИЙ АППАРАТ

Для испытаний, описанных в следующих разделах настоящего стандарта, используется РЕНТГЕНОВСКОЕ ПИТАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ (см. МЭК 60601-2-7). Коэффициент ПУЛЬСАЦИЙ АНОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ, выраженный в процентах, должен быть равен или менее 4.

Номинальный размер ФОКУСНОГО ПЯТНА (см. МЭК 60336) должен быть не более 1,2 мм.

Для измерения КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ следует использовать поверенные ДОЗИМЕТРЫ. Погрешность измерения (при коэффициенте перекрытия 2) должна быть менее 5 %.

Примечания

1 «Погрешность» и «коэффициент перекрытия» – термины, определенные в стандартах ИСО/МЭК для обозначения ошибок измерения [2].

2 ДОЗИМЕТРЫ для оценки, например, КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ калибруют в специализированных метрологических лабораториях.

4.3 КАЧЕСТВО ИЗЛУЧЕНИЯ

Испыта ния могут быть проведены при одном или нескольких из четырех вариантов КАЧЕСТВА ИЗЛУЧЕНИЯ, представленных в МЭК 61267 (см. таблицу 1). Если используется только одно КАЧЕСТВО ИЗЛУЧЕНИЯ, то предпочтительно выбрать КАЧЕСТВО ИЗЛУЧЕНИЯ *RQA* 5.

Применение различных вариантов КАЧЕСТВА ИЗЛУЧЕНИЯ описано в МЭК 61267.

Примечания

1 Несмотря на то, что доступно более позднее издание МЭК 61267, в настоящем стандарте приведена ссылка на МЭК 61267:1994 по причинам согласования внутри стандартов семейства МЭК 62220. К тому же, МЭК 61267:2005 накладывает жесткие требования на практическую реализацию КАЧЕСТВ ИЗЛУЧЕНИЙ. Эти требования не обязательны для использования в настоящем стандарте.

2 В соответствии с МЭК 61267:1994 КАЧЕСТВО ИЗЛУЧЕНИЯ характеризуется фиксированным ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ФИЛЬТРОМ и СЛОЕМ ПОЛОВИННОГО ОСЛАБЛЕНИЯ, который реализуется при этой фильтрации при заданном АНОДНОМ НАПРЯЖЕНИИ на РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКЕ (максимально близком к представленным в таблице 1).

3 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ФИЛЬТР – фильтр, который добавляется к собственному фильтру РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ.

4 Не все РЕНТГЕНОВСКИЕ ПИТАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ способны обеспечить низкие дозы, особенно для качества излучения *RQA* 9. В этом случае рекомендуется увеличить расстояние «ФОКУСНОЕ ПЯТНО – ПОВЕРХНОСТЬ ДЕТЕКТОРА».

Таблица 1 – КАЧЕСТВО ИЗЛУЧЕНИЯ (см. МЭК 61267) для определения КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ и соответствующих параметров

КАЧЕСТВО ИЗЛУЧЕНИЯ	Приблизительное АНОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ на РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКЕ, кВ	СЛОЙ ПОЛОВИННОГО ОСЛАБЛЕНИЯ (СПО), мм Al	ДОПОЛНИТЕЛЬ-НЫЙ ФИЛЬТР, мм Al
RQA 3	50	4,0	10,0
RQA 5	70	7,1	21,0
RQA 7	90	9,1	30,0
RQA 9	120	11,5	40,0

4.4 ТЕСТ-ОБЪЕКТ

ТЕСТ-ОБЪЕКТ для определения ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ представляет собой вольфрамовую пластину (чистота более 90 %), толщиной 1 мм, длиной 100 мм и шириной по крайней мере 75 мм (см. рисунок 1). Недостаточная чистота вольфрама должна быть компенсирована увеличением толщины пластины.

Вольфрамовую пластину применяют в качестве ТЕСТ-ОБЪЕКТА «острый край», поэтому край, используемый для регистрации изображения, должен быть тщательно отполирован как в плоскости пластины, так и под углом 90^0 к этой плоскости. Если край экспонируют в контакте с пленкой без усиливающего экрана, то изображение на пленке не должно иметь неравномерностей вдоль края размерами более 5 мкм.

Вольфрамовая пластина должна быть зафиксирована на свинцовой пластине толщиной 3 мм (см. рисунок 1). Такая конструкция позволит проводить измерения ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ ЦИФРОВЫХ ПРИЕМНИКОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ в одном из направлений.

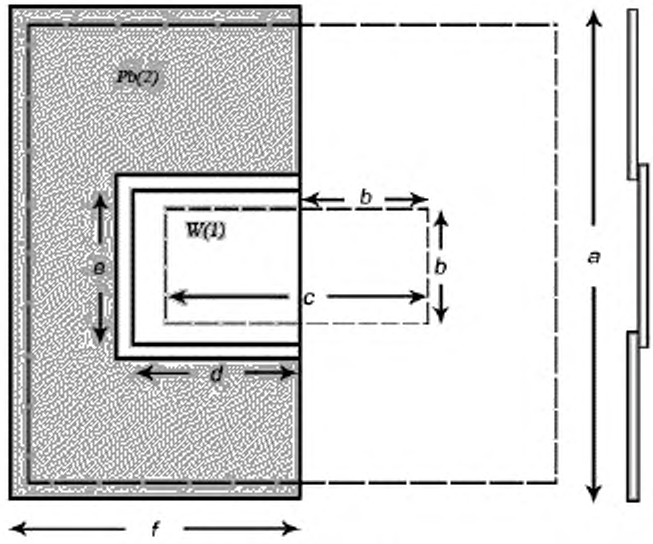


Рис. 1 Тест-объект

Примечание – ТЕСТ-ОБЪЕКТ содержит вольфрамовую пластину (1) толщиной 1 мм, зафиксированную на свинцовой пластине (2) толщиной 3 мм. Размеры свинцовой пластины: a – 200 мм, d – 70 мм, e – 90 мм, f – 100 мм. Размеры вольфрамовой пластины: 100 × 75 мм. Область интереса (ROI), используемая для оценки MTF и определяемая как b × c, должна иметь размеры 50 × 100 мм (эта область отмечена внутренней пунктирной линией). Область экспонирования на поверхности приемника (отмечена внешней пунктирной линией) должна быть по крайней мере размерами 160 × 160 мм.

Рисунок 1 – ТЕСТ-ОБЪЕКТ

4.5 Геометрия

Геометрия проведения измерений должна соответствовать приведенной на рисунке 2. РЕНТГЕНОВСКИЙ АППАРАТ используется в той же конфигурации, что и при обычных диагностических процедурах. Расстояние между ФОКУСНЫМ ПЯТНОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ и ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЕТЕКТОРА должно быть не менее 1,50 м. Если по техническим причинам расстояние не может быть 1,50 м или более, выбирают меньшее расстояние, но его значение должно быть указано в представляемых результатах (в отчете).

БАЗИСНАЯ ОСЬ должна быть совмещена с ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОСЬЮ.

ТЕСТ-ОБЪЕКТ размещают непосредственно на передней ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА. Центр края ТЕСТ-ОБЪЕКТА должен быть установлен по БАЗИСНОЙ ОСИ ПУЧКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. Отклонение от БАЗИСНОЙ ОСИ будет снижать оценку ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ. БАЗИСНАЯ ОСЬ может быть определена по максимуму MTF при различных смещениях ТЕСТ-ОБЪЕКТА.

Рекомендуется, чтобы положение ТЕСТ-ОБЪЕКТА и ПУЧКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ было привязано к центру входной ПЛОСКОСТИ ПРИЕМНИКА ИЗОБРАЖЕНИЯ. Если это не реализовано, необходимо совместить положение центров ПУЧКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ и ТЕСТ-ОБЪЕКТА.

В конфигурации, представленной на рисунке 2, ДИАФРАГМА *B*1 и ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ФИЛЬТР должны быть размещены в непосредственной близости от ФОКУСНОГО ПЯТНА РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ. ДИАФРАГМЫ *B*2 и *B*3 могут использоваться, но могут быть исключены, если будет доказано, что это не повлияет на результаты измерений. ДИАФРАГМА *B*1 и (если используется) ДИАФРАГМА *B*2, а также ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ФИЛЬТР должны быть в фиксированном положении по отношению к ФОКУСНОМУ ПЯТНУ. ДИАФРАГМА *B*3 (если используется) и ПОВЕРХНОСТЬ ДЕТЕКТОРА должны фиксироваться друг относительно друга при различных расстояниях от ФОКУСНОГО ПЯТНА. Квадратная ДИАФРАГМА *B*3 (если используется) должна быть расположена на расстоянии 120 мм перед входной ПОВЕРХНОСТЬЮ

ДЕТЕКТОРА и иметь размеры, обеспечивающие рентгеновское поле в ПЛОСКОСТИ ПРИЕМНИКА ИЗОБРАЖЕНИЯ размерами не менее 160 × 160 мм. АПЕРТУРУ ДИАФРАГМЫ *B*2 можно изменять так, чтобы при изменении расстояния ПУЧОК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ оставался строго коллимированным. Размеры облучаемого поля на ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА должны быть не менее 160 ×160 мм.

Ослабляющие свойства ДИАФРАГМ должны быть такими, чтобы рентгеновское излучение, прошедшее через заграждающие области, не влияло на результаты измерений.

АПЕРТУРА ДИАФРАГМЫ *B*1 должна быть достаточно большой, чтобы ПОЛУТЕНЬ рентгеновского пучка находилась вне чувствительной области контрольного детектора (контрольного ДОЗИМЕТРА) *R*1 и АПЕРТУРЫ ДИАФРАГМЫ *B*2 (если они используются).

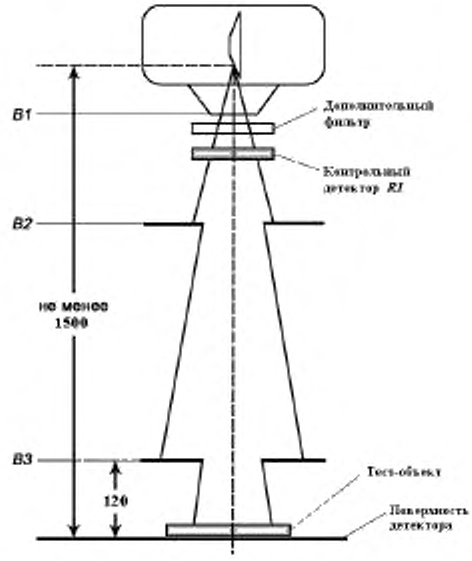
Контрольный детектор *R*1 используется для подтверждения корректной работы РЕНТГЕНОВСКОГО ГЕНЕРАТОРА. Он может быть расположен внутри ПУЧКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, которым облучают ПОВЕРХНОСТЬ ДЕТЕКТОРА, если он относительно прозрачен и не имеет встроенных элементов, в противном случае он должен быть помещен вне той части пучка, которая проходит через апертуру B3. Погрешность (стандартное отклонение 1σ) этого контрольного детектора должна быть не более 2 %. Соотношения между показаниями контрольного детектора и значением КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ в ПЛОСКОСТИ ПРИЕМНИКА ИЗОБРАЖЕНИЯ должны быть определены для каждого КАЧЕСТВА ИЗЛУЧЕНИЯ (см. также 4.6.2). Для уменьшения эффектов ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ от объектов позади приемника должно быть обеспечено минимальное расстояние 500 мм до каждого из этих объектов.

Примечание – На калибровку контрольного детектора могут влиять: положение ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ФИЛЬТРА и положение шторок в излучателе. Поэтому изменение их положения требует перекалибровки контрольного детектора.

Представленная геометрия используется как для получения изображения однородного поля в ПЛОСКОСТИ ПРИЕМНИКА ИЗОБРАЖЕНИЯ (для оценки ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ и СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА), так и для получения изображения ТЕСТ-ОБЪЕКТА (см. 4.6.6). При всех измерениях должна быть экспонирована одна и та же область ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА. Положение центра этой области по отношению либо к центру, либо к границам цифрового рентгеновского приемника должно быть зафиксировано.

Все измерения должны быть выполнены с использованием одной и той же геометрии съемки.

При определении СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА или ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕСТ-ОБЪЕКТ удаляют.



Примечание – При определении СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА или ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕСТ-ОБЪЕКТ не используют.

Рисунок 2 – Геометрия облучения ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ при определении ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА и ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ (используется ТЕСТ-ОБЪЕКТ)

4.6 Условия экспонирования

4.6.1 Общие условия

Перед любыми испытаниями должна быть проведена калибровка цифрового рентгеновского приемника, т.е. проведены все операции, необходимые для коррекции данных в соответствии с разделом 5. Все серии измерений должны быть выполнены без перекалибровки ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ. Калибровки смещения исключены из этого требования. Они могут быть проведены, как при клиническом использовании аппарата.

Уровень КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ должен быть выбран таким, который используется, когда ЦИФРОВОЙ ПРИЕМНИК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ применяют в клинической практике. Такой уровень КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ называют «нормальным уровнем». Должны быть выбраны по крайней мере два дополнительных уровня КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ: один в 3,2 раза выше, другой – в 3,2 раза ниже «нормального уровня». При изменении уровня КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ (в пределах одного РЕЖИМА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ) не допускается изменение настроек ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ (например, усиления и т.д.).

Примечание – Коэффициент 3,2 в уровнях дозы выше и ниже «нормального» приблизительно соответствует светлым и темным областям в пределах одного рентгеновского изображения.

Один или несколько РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ с соответствующими «нормальными уровнями» могут быть выбраны в зависимости от клинического применения ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, а именно:

РЕЖИМА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ 1: Рентгеноскопия – «нормальный уровень» 20 нГр ± 10 %;

РЕЖИМА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ 2: Кардиологические исследования – «нормальный уровень» 200 нГр ± 10 %;

РЕЖИМА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ 3: Серия экспозиций – «нормальный уровень» 2000 нГр ± 10 %.

Настройки ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ должны оставаться неизменными для каждого РЕЖИМА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ. Когда выбирается другой РЕЖИМ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, настройки ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ могут быть изменены; однако они должны оставаться постоянными при работе системы в данном РЕЖИМЕ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ. Также может быть выбран дополнительный «нормальный уровень».

Изменение КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ осуществляют изменением АНОДНОГО ТОКА РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ или изменением ВРЕМЕНИ ЭКСПОЗИЦИИ, или тока и времени одновременно. ВРЕМЯ ЭКСПОЗИЦИИ должно соответствовать значениям, используемым в клинической практике для данного ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ.

Условия экспозиции приводят в отчете вместе с результатами (см. раздел 7).

При изменении АНОДНОГО ТОКА РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ или ВРЕМЕНИ ЭКСПОЗИЦИИ необходимо контролировать КАЧЕСТВО ИЗЛУЧЕНИЯ (оно должно быть проверено на самом низком уровне КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ).

4.6.2 Измерение КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ

КЕРМУ В ВОЗДУХЕ на ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА измеряют соответствующими ДОЗИМЕТРАМИ. Для этой цели ЦИФРОВОЙ ПРИЕМНИК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ удаляют из ПУЧКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ и на его место помещают чувствительный элемент ДОЗИМЕТРА (после ДИАФРАГМЫ *B*3 в плоскости ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА). Необходимо принять во внимание уменьшение обратного рассеяния. Необходимо определить и записать взаимосвязь показаний ДОЗИМЕТРА и контрольного детектора (если используется). Эту взаимосвязь используют для вычисления значения КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ на ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА, когда выполняют ЭКСПОЗИЦИЮ для определения ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА и ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ. При ЭКСПОЗИЦИИ в соответствии с настоящим стандартом получается большое число изображений. В связи с этим рекомендуется измерять суммарную КЕРМУ В ВОЗДУХЕ и делить это значение на число изображений, полученных за ЭКСПОЗИЦИЮ.

Примечание – Для уменьшения обратного рассеяния можно поместить свинцовый экран толщиной 4 мм на расстоянии 450 мм позади ДОЗИМЕТРА. Было экспериментально доказано, что при этих условиях уровень РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ не превышает 0,5 %. Если свинцовый экран разместить на расстоянии 250 мм, уровень РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ не превысит 2,5 %.

Если ЦИФРОВОЙ ПРИЕМНИК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ невозможно удалить, КЕРМА В ВОЗДУХЕ на ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА может быть вычислена по закону обратных квадратов расстояния. Для этого КЕРМУ В ВОЗДУХЕ измеряют на различных расстояниях от ФОКУСНОГО ПЯТНА перед ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЕТЕКТОРА. При проведении этих измерений следует избегать излучения, рассеянного от ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА. Рекомендуется, чтобы минимальное расстояние между ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЕТЕКТОРА и чувствительным элементом ДОЗИМЕТРА составляло 450 мм.

Если используется контрольный детектор, то строят следующую зависимость как функцию расстояния d между ФОКУСНЫМ ПЯТНОМ и ДОЗИМЕТРОМ:

$$f(d) = \sqrt{\frac{\text{Показание контрольного детектора}}{\text{Показание дозиметра}}}.$$

Экстраполируя эту приблизительно линейную зависимость до расстояния между ФОКУСНЫМ ПЯТНОМ и ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЕТЕКТОРА r_{SID} , получают отношение показаний двух приборов на расстоянии r_{SID}, что позволяет определить уровень КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ на ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА для каждого показания контрольного детектора.

Если контрольный детектор не используется, то строят зависимость квадратного корня из обратного значения показания ДОЗИМЕТРА от расстояния между ФОКУСНЫМ ПЯТНОМ и ДОЗИМЕТРОМ. Повторяя процедуру экстраполяции, приведенную выше, получают искомое значение КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ на ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА.

Примечание – Для уменьшения влияния РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ может быть использован свинцовый лист толщиной 4 мм, помещенный перед ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЕТЕКТОРА.

4.6.3 «ОСТАТОЧНЫЕ» СИГНАЛЫ

«ОСТАТОЧНЫЕ» СИГНАЛЫ влияют на результаты измерения СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА, следовательно, они влияют на измерение КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ.

Поскольку «ОСТАТОЧНЫЕ» СИГНАЛЫ возникают при клиническом применении системы, ЦИФРОВОЙ ПРИЕМНИК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ следует контролировать при параметрах съемки, соответствующих клиническому режиму. «ОСТАТОЧНЫЕ» СИГНАЛЫ определяют отдельно. После этого получают корректированный в соответствии с «ОСТАТОЧНЫМИ» СИГНАЛАМИ СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА. Для оценки «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ не требуется каких-либо дополнительных процедур получения изображений, поскольку расчет может быть выполнен на основе изображений, полученных для оценки СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА [11], [12], [13],

4.6.4 ЭКСПОЗИЦИЯ для определения ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Настройки ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ должны быть такими же, как и в случае получения изображения ТЕСТ-ОБЪЕКТА. Условия ЭКСПОЗИЦИИ должны соответствовать геометрии, представленной на рисунке 2, но без ТЕСТ-ОБЪЕКТА. КЕРМУ В ВОЗДУХЕ измеряют в соответствии с 4.6.2. ФУНКЦИЮ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ определяют в диапазоне доз от нуля до четырехкратного превышения «нормального уровня».

ФУНКЦИЮ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ для нулевого уровня КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ можно определять по «темному» изображению, полученному при тех же условиях, что и обычное рентгеновское изображение. Минимальный уровень КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ не должен превышать пятую часть «нормального уровня».

В зависимости от вида ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ изменяется число необходимых ЭКСПОЗИЦИЙ: если нужно проверить лишь линейность ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, достаточно пяти ЭКСПОЗИЦИЙ, дозы при которых равномерно распределены внутри требуемого диапазона. Если определяют полную ФУНКЦИЮ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, то КЕРМА В ВОЗДУХЕ должна изменяться так, чтобы максимальное увеличение десятичного логарифма дозы было не более 0,1. КАЧЕСТВО ИЗЛУЧЕНИЯ для всех значений КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ должно оставаться неизменным и должно быть проверено для самого низкого уровня дозы. В случае отклонения от этих требований может быть увеличено расстояние между ФОКУСНЫМ ПЯТНОМ и ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЕТЕКТОРА.

4.6.5 ЭКСПОЗИЦИЯ для определения СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА и «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ

Настройки ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ должны быть такими же, как и в случае получения изображения ТЕСТ-ОБЪЕКТА. Условия ЭКСПОЗИЦИИ должны соответствовать геометрии, представленной на рисунке 2, но без ТЕСТ-ОБЪЕКТА. КЕРМУ В ВОЗДУХЕ измеряют в соответствии с 4.6.2.

Для получения СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА (используемого впоследствии для вычисления *DQE*) применяют квадратную область размерами приблизительно 125 × 125 мм, расположенную за квадратной ДИАФРАГМОЙ *B*3 с размером окна 160 × 160 мм в центральной части приемника.

Набор данных должен содержать, по крайней мере, N_{IM} следующих друг за другом неэкспонированных изображений и N_{IM} следующих друг за другом экспонированных изображений, причем каждое изображение должно иметь по крайней мере 256 пикселей по каждой из пространственных координат в области, предназначенной для оценки СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА. Все отдельные изображения должны быть получены при одних и тех же КАЧЕСТВЕ ИЗЛУЧЕНИЯ и КЕРМЕ В ВОЗДУХЕ. Последовательность получения изображений показана на рисунке 3. N_{IM} представляет собой число изображений. Оно должно быть равно по крайней мере 64 и быть всегда результатом возведения числа «2» в какую-либо степень (далее по тексту «степень числа 2»).

Для предотвращения влияния на результаты измерений переходных процессов необходимо принимать во внимание лишь те неэкспонированные и экспонированные изображения, которые следуют за определенным числом изображений. Число опускаемых для анализа изображений зависит от значения «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ. Можно предложить следующий критерий: среднее значение яркости первого сохраняемого изображения в последовательности из N_{IM} изображений не должно отличаться более чем на 2% от среднего значения всех сохраненных изображений данной последовательности.



Рисунок 3 – Последовательность изображений для определения СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА и «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ

Примечание – Минимальное число сохраняемых изображений определяется двумя требованиями:

– число изображений для определения «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ с точностью, большей чем 5 % должно быть достаточно большим, так как в этом случае необходимо обеспечить требуемое разрешение по частоте. Необходимо исключить процедуру дополнения нулями отдельных отчетов перед выполнением преобразования Фурье. Таким образом, если используется быстрое преобразование Фурье (БПФ), число отчетов должно быть равно степени числа 2. Для выполнения этого требования достаточно 64 изображений;

– минимально необходимое число независимых пикселей является следствием требуемой точности, которая определяется минимальным числом областей интереса (ROI). Для определения двухмерного СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА с погрешностью 5 %, требуется не менее 960 перекрывающихся областей с суммарным числом независимых пикселей приблизительно 16 млн (при заданном размере

области). Процедуры усреднения и сглаживания данных, которые используют в дальнейшем для получения сечения функции вдоль одной из координат, позволяют снизить требуемое число независимых пикселей до четырех миллионов (при этом обеспечивается необходимая точность). Для выполнения этого требования достаточно 64 изображений.

В процессе выполнения ЭКСПОЗИЦИЙ не допускается изменение настроек системы.

Изображения для определения СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА и «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ должны быть получены при трех различных уровнях КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ (см. 4.6.1) для каждого РЕЖИМА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ: одном «нормальном» и двух других, отличающихся от «нормального» в 3,2 раза (в большую и меньшую стороны). Эти требования приведены в таблице 2 (см. 4.6.7).

4.6.6 ЭКСПОЗИЦИЯ с ТЕСТ-ОБЪЕКТОМ

Условия ЭКСПОЗИЦИИ должны соответствовать геометрии, представленной на рисунке 2. ТЕСТ-ОБЪЕКТ помещают непосредственно на ПОВЕРХНОСТЬ ДЕТЕКТОРА. ТЕСТ-ОБЪЕКТ располагают наклонно под углом α к оси, параллельной колонкам или рядам матрицы изображения, причем угол α выбирают в диапазоне от 1,5 ° до 3 °.

Примечание – Метод, использующий регистрацию изображения «наклоненного ТЕСТ-ОБЪЕКТА» (относительно рядов и колонок МАТРИЦЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ) принят и в других стандартах (см. ИСО 15529 и ИСО 12233) и представлен в различных публикациях, посвященных определению ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ.

Положение ТЕСТ-ОБЪЕКТА должно быть отрегулировано так, чтобы плоскость ТЕСТ-ОБЪЕКТА была перпендикулярна к БАЗИСНОЙ ОСИ ПУЧКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, а край ТЕСТ-ОБЪЕКТА был максимально близок к БАЗИСНОЙ ОСИ ПУЧКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.

Примечание – Отклонения от идеальной установки приведут к занижению оценки MTF.

В процессе испытаний должны быть сделаны две ЭКСПОЗИЦИИ с ТЕСТ-ОБЪЕКТОМ, помещенным в ПУЧОК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ: первая, когда край ТЕСТ-ОБЪЕКТА ориентирован приблизительно вдоль колонок, и вторая – когда край ориентирован вдоль рядов МАТРИЦЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ. Расположение других элементов геометрии (см. рисунок 2) не изменяется. При новом расположении ТЕСТ-ОБЪЕКТА необходимо снова отрегулировать его положение относительно БАЗИСНОЙ ОСИ ПУЧКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.

Изображения для определения *MTF* должны быть получены при одном из трех уровней КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ (см. 4.6.1) для выбранного РЕЖИМА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ. Для каждого РЕЖИМА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ *MTF* оценивают отдельно.

Для изображений, полученных для оценки *MTF* (особенно при низком уровне КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ), рекомендуется проводить процедуру усреднения. Значение *MTF* на частоте Найквиста не должно изменяться более чем на 5 % при повторных измерениях.

4.6.7 Обзор всех необходимых ЭКСПОЗИЦИЙ

В таблице 2 представлен набор всех необходимых ЭКСПОЗИЦИЙ. Для всех указанных уровней КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ допускается отклонение ± 10 %.

Таблица 2 – Необходимые ЭКСПОЗИЦИИ

Подраздел/пункт настоящего стандарта	РЕЖИМ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ		
	1	2	3
4.3 Условия	Качество излучения *RQA;* «нормальный уровень» 20 нГр; параметры съемки 1	Качество излучения *RQA;* «нормальный уровень» 200 нГр; параметры съемки 2	Качество излучения *RQA;* «нормальный уровень» 2000 нГр; параметры съемки 3
4.6.4 ФУНКЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ	Диапазон от 0 до 80 нГр	Диапазон от 0 до 800 нГр	Диапазон от 0 до 8000 нГр
4.6.5 СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА и «ОСТАТОЧНЫЕ» СИГНАЛЫ	6, 20 и 64 нГр	60, 200 и 640 нГр	600, 2000 и 6400 нГр
4.6.6 ФУНКЦИЯ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ (u,v)	Одно значение из 6, 20 или 64 нГр	Одно значение из 60, 200 или 640 нГр	Одно значение из 600, 2000 или 6400 нГр

5 Корректировка НЕОБРАБОТАННЫХ ДАННЫХ

Допускается следующая линейная и независимая от вида изображения корректировка НЕОБРАБОТАННЫХ ДАННЫХ для получения ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА и ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ.

Все корректировки (если они проводятся) должны соответствовать клиническому режиму работы системы:

– корректировка, при которой дефектные пиксели могут быть заменены соответствующими значениями;

– корректировка в условиях равномерного облучения ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА, включающая в себя:

1) коррекцию неоднородности рентгеновского поля,

2) компенсацию составляющей сигнала в отсутствие рентгеновского излучения («темновых токов»),

3) выравнивание коэффициентов передачи отдельных каналов;

– компенсация геометрических искажений.

Примечания

1 В некоторых детекторах автоматически осуществляется линейная обработка изображений. Подобная обработка допускается (в качестве исключения), если она является линейной и независимой от вида изображения.

2 Считают, что обработка является независимой от вида изображения, если она применима ко всем изображениям, полученным различными способами.

6 Определение КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ

6.1 Определение и формула для *DQE(u,v)*

Формула для частотно-зависимой КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ *DQE(u,v)* имеет следующий вид:

$$DQE(u,v) = G^2 MTF^2(u,v)\frac{W_{in}(u,v)}{W_{out}(u,v)}. \quad (1)$$

Она приведена в [4] (выражение 2.153).

В настоящем стандарте СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА на выходе $W_{out}(u,v)$ должен быть пересчитан в соответствии с результатами оценки «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ в $W_{out\ corrected}(u,v)$ (в соответствии с 6.3.2). СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА на выходе $W_{out\ corrected}(u,v)$ и ФУНКЦИЮ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ $MTF(u,v)$ ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ вычисляют с использованием ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ ДАННЫХ. ЛИНЕАРИЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ получают, применяя ФУНКЦИЮ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ к ИСХОДНЫМ ДАННЫМ (в соответствии с 6.3.1); они имеют размерность – число квантов на единицу площади. Коэффициент усиления приемника G на нулевой ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТЕ [формула (1)] является частью функции преобразования и поэтому не должен определяться отдельно.

Таким образом, рабочая формула для определения частотно-зависимой КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ *DQE(u,v)* в соответствии с настоящим стандартом имеет вид:

$$DQE(u,v) = MTF^2(u,v)\frac{W_{in}(u,v)}{W_{out_{corrected}}(u,v)}, \quad (2)$$

где $MTF(u,v)$ – ФУНКЦИЯ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, определяемая в соответствии с 6.3.3;

$W_{in}(u,v)$ – СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА радиационного поля на ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА, определяемый в соответствии с 6.2;

$W_{out\ corrected}(u,v)$ – СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА на выходе ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, пересчитанный в соответствии с результатами оценки «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ, определяемых в соответствии с 6.3.2.

6.2 Параметры, используемые для вычислений

Для определения КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ вычисляют входной (на ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА) СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА $W_{in}(u,v)$ по формуле

$$W_{in}(u,v) = K_a SNR_{in}^2, \quad (3)$$

где K_a – измеренная КЕРМА В ВОЗДУХЕ, размерность, мкГр;

SNR_{in}^2 – величина, равная квадрату отношения сигнал – шум, приведенному к дозе в ПЛОСКОСТИ ПРИЕМНИКА ИЗОБРАЖЕНИЯ, размерность, 1/(мм^2 мкГр) (см. колонку 2 таблицы 3).

В настоящем стандарте используют значения SNR_{in}^2 по таблице 3.

Таблица 3 – Параметры, используемые для вычислений

КАЧЕСТВО ИЗЛУЧЕНИЯ	SNR_{in}^2 1/(мм^2 мкГр)
RQA 3	21759
RQA 5	30174
RQA 7	32362
RQA 9	31077

Дополнительная информация по вычислению SNR_{in}^2 приведена в приложении В.

6.3 Оценка различных параметров с использованием зарегистрированных изображений

6.3.1 Линеаризация данных

ЛИНЕАРИЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ вычисляют, применяя обратную ФУНКЦИЮ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ к ИСХОДНЫМ ДАННЫМ для каждого пикселя. Поскольку ФУНКЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ представляет собой зависимость уровня яркости (ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ) от числа квантов на единицу площади, ЛИНЕАРИЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ имеют размерность «число квантов на единицу площади».

Примечание – Для линейной ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ это вычисление сводится к умножению на коэффициент преобразования.

ФУНКЦИЮ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ определяют по изображениям, полученным в соответствии с 4.6.4.

Выходное значение яркости вычисляют усреднением яркостей в области 100×100 пикселей в центре экспонированной области. Значения яркости пикселей являются ИСХОДНЫМИ ДАННЫМИ, полученными из НЕОБРАБОТАННЫХ ДАННЫХ, коррекция которых возможна только в соответствии с требованиями раздела 5. Строят зависимость этой выходной величины от входного сигнала, который представляет собой число экспонированных квантов на единицу площади Q [вычисляется путем умножения значения КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ на значение, приведенное для заданного КАЧЕСТВА ИЗЛУЧЕНИЯ во второй колонке таблицы 3 (см. 6.2)].

Экспериментальные данные должны быть сглажены при использовании соответствующей сглаживающей функции. Если предполагают, что ФУНКЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ является линейной (выполняют только пять экспозиций в соответствии с 4.6.4), сглаживание должно быть осуществлено при использовании линейной функции. Сглаженные данные должны удовлетворять следующим требованиям.

– квадрат коэффициента корреляции $R^2 \geq 0{,}99$;

– относительное отклонение каждой экспериментальной точки от соответствующего значения на сглаженной функции должно быть не более 2 %.

6.3.2 СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА (NPS), пересчитанный в соответствии с результатами оценки «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ

6.3.2.1 Определение СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА (*NPS*)

СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА на выходе ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ определяют по изображениям, полученным в соответствии с 4.6.5. В результате получают два СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА:

$W_{out}(u,v)_{dark}$ – СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА на выходе ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, полученный для N_{IM} неэкспонированных изображений (темновые изображения);

$W_{out}(u,v)_{exp}$ – СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА на выходе ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, полученный для N_{IM} экспонированных изображений.

Участок изображения, используемый для анализа *NPS*, должен быть разбит на квадратные зоны, называемые областями интереса (*ROI*). Размер каждой области интереса для вычисления частного СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА должен быть 256×256 пикселей. Эти области интереса должны перекрываться на 128 пикселей в обоих (горизонтальном и вертикальном) направлениях (см. рисунок 4). Первая область интереса начинается с верхнего левого угла анализируемого участка изображения. После смещения на 128 пикселей в горизонтальном направлении вправо получают вторую область интереса, которая перекрывается наполовину с первой областью. Следующую область интереса получают, перемещая уже вторую область на 128 пикселей в горизонтальном направлении вправо. Эту процедуру выполняют до тех пор, пока не закончится первая горизонтальная полоса. Опять возвращаясь к левой стороне и сместившись на 128 пикселей в соответствующем вертикальном направлении, получают вторую горизонтальную полосу. Двигаясь в вертикальном направлении, получают следующие полосы до тех пор, пока весь анализируемый участок изображения (размерами приблизительно 125 × 125 мм) не будет покрыт областями интереса.

Устранить тренд (возникающий в процессе эксперимента) можно применением к ЛИНЕАРИЗОВАННЫМ ДАННЫМ для каждой области интереса, используемой для вычисления СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА, сглаживающего двухмерного полинома второго порядка. Значения полинома $S(x_i,y_j)$ вычитают из значений ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ ДАННЫХ [см. формулу (4)]. Для каждой области интереса *ROI* вычисляется двумерное преобразование Фурье без применения какой-либо фильтрации с использованием «плавающих» окон.

Применяемое двухмерное преобразование Фурье описывается формулой (4). На основании [4] [выражение (3.44)] формула для определения СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА, используемая в настоящем стандарте, имеет следующий вид:

$$W_{out}(u_n,v_k)=\frac{\Delta x\Delta y}{M\cdot 256\cdot 256}\sum_{m=1}^{M}\left|\sum_{i=1}^{256}\sum_{j=1}^{256}\left(I(x_i,y_j)-S\left(x_i,y_j\right)\right)\exp\left(-2\pi i(u_n x_j+v_k y_j)\right)\right|^2, \qquad (4)$$

где $\Delta x\cdot\Delta y$ – произведение размеров пикселей в горизонтальном и вертикальном направлениях, соответственно;

M – число областей интереса (*ROI*);

$I(x_i,y_j)$ – ЛИНЕАРИЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ;

$S(x_i,y_j)$ – сглаживающий двухмерный полином.

Усредненный двухмерный СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА получают усреднением всех полученных спектров для заданного уровня КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ.



Примечание – Размер *ROI* в каждом направлении должен составлять $n = 256$.

Рисунок 4 – Расположение областей интереса (ROI)

6.3.2.2 Определение коэффициента коррекции «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ

Ниже приведено краткое описание процедуры определения коэффициента коррекции «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ. Более подробная информация представлена в приложении А и [12].

1) Коэффициент коррекции «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ *r* оценивают по ЛИНЕАРИЗОВАННЫМ ДАННЫМ, используя те же изображения, что и для определения *NPS* (см. 6.3.2.1).

2) Для устранения возможных флюктуаций значений яркости от изображения к изображению (например, вследствие изменений КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ) для экспонированных изображений выполняют следующую процедуру: внутри области интереса *ROI*, размер и расположение которой описаны на следующем перечислении, рассчитывают средние значения для каждого изображения; после этого осуществляют вычитание полученных средних значений из ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ ДАННЫХ исходных изображений.

3) Для расчета выбирают центральную прямоугольную область интереса размерами не менее 256 х 256 пикселей внутри области размерами 125 х 125 мм. *ROI* образует множество *K* временных сигналов $gk(n)$, состоящих из N_{IM} отсчетов (см. 4.6.5 для определения N_{IM}). Данные сигналы используются для оценки спектральных плотностей. Увеличение числа пикселей *K* приводит к уменьшению дисперсии оценки усредненной спектральной плотности мощности шума (СПМШ).

4) Далее применяют следующую процедуру как для темновых, так и для экспонированных последовательностей изображений. Для каждого пикселя *K* внутри *ROI*, используя процедуру БПФ без дополнительного дополнения нулями отдельных отчетов, получают оценку СПМШ. После процедуры усреднения всех рассчитанных СПМШ получают оценки усредненных СПМШ для экспонированных $P_{gg\text{-}exp}(f_T)$ и темновых $P_{gg\text{-}dark}(f_T)$ изображений. Здесь f_T – временная частота.

5) СПМШ экспонированных изображений включает в себя шумы электроники и фильтрованный квантовый шум. «ОСТАТОЧНЫЕ» СИГНАЛЫ оказывают влияние только на квантовый шум. Поскольку эти две компоненты шума некоррелированы, их спектральные плотности складываются. Следовательно, компонента квантового шума может быть получена путем вычитания усредненной СПМШ темновых изображений из усредненной СПМШ экспонированных изображений.

$$P_{gq}(f_T) = P_{gq\text{-}exp}(f_T) - P_{gq\text{-}dark}(f_T). \tag{5}$$

Формула (5) дает оценку результирующей спектральной плотности квантового шума $P_{gg}(f_T)$, который коррелирован вследствие наличия «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ.

6) Значение СПМШ на нулевой временной частоте равно нулю (либо близко к нулю) вследствие вычитания средних значений, поэтому $P_{gg}(0)$ должно быть определено отдельно. Если число изображений N_{IM} достаточно велико (СПМШ передискретизирована), СПМШ может быть хорошо восстановлена по выборке размером N_{IM} /2. В этом случае $P_{gg}(0)$ оценивается как взвешенная сумма отчетов СПМШ, имеющих нечетные номера. Эта оценка дает достоверный результат для $P_{gg}(0)$ для достаточно большого значения N_{IM}.

$$P_{gg}(0) = 2\sum_{n=1}^{N_{IM}/4} d_{N_{IM}/2}\left(\frac{2n-1}{N_{IM}}\right) P_{gg}\left(\frac{2n-1}{N_{IM}}\right), \tag{6}$$

где $d_{N_{IM}}$ – преобразование Фурье модифицированной (центрированной) версии дискретного прямоугольного окна четной длины N_{IM}.

$$d_{N_{IM}}(f_T) = \frac{1}{N_{IM}} \frac{\sin(N_{IM}\pi f_T)}{\sin(\pi f_T)} \cos(\pi f_T), \tag{7}$$

7) Отношение *r* двух интегралов СПМШ фильтрованного квантового шума и белого шума представляет собой ослабление квантового шума вследствие наличия «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ.

$$r = \frac{\int P_{gg}(f_T)\, df_T}{\int P_{gg}(0)\, df_T}. \tag{8}$$

Поскольку СПМШ являются дискретными функциями, интегрирование в формуле (8) заменяют суммированием; при этом используют как положительные, так и отрицательные частоты спектров (включая значение СПМШ в нуле, которое должно быть определено отдельно).

6.3.2.3 Определение СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА, пересчитанного в соответствии с результатами оценки «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ

Поскольку квантовая часть *NPS* подвержена влиянию «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ, она должна быть нормирована на коэффициент коррекции «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ.

$$W_{out_{corrected}}(u,v) = W_{out}(u,v)_{dark} + \frac{W_{out}(u,v)_{exp} - W_{out}(u,v)_{dark}}{r}. \quad (9)$$

6.3.2.4 Определение одномерного СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА

Для того чтобы из двухмерного получить одномерный СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА вдоль одной из осей на плоскости ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЧАСТОТ, должны быть использованы 15 рядов или колонок двухмерного спектра вокруг каждой оси. Однако усредняют только отсчеты спектральной плотности ШУМА из семи рядов или колонок с обеих сторон соответствующих осей (общее число рядов или колонок – 14), опуская значения на самих осях. В этом случае используются отсчеты спектральной плотности ШУМА из этих рядов или колонок, которые соответствуют значениям ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЧАСТОТ, определенных при условии одинакового отклонения по частоте от начала координат. Далее проводят сглаживание результатов путем усреднения данных в интервале частот $2f_{int}$ ($f - f_{int} \le f \le f + f_{int}$) вокруг задаваемых ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЧАСТОТ (см. раздел 7), причем f_{int} определяют по формуле

$$f_{int} = \frac{0{,}01}{\text{Размер пикселя, мм}}$$

Примечание – Зависимость интервала частот от размера пикселя, обеспечивают одинаковое число отсчетов, участвующих в усреднении (независимо от размера пикселя), что в свою очередь обеспечивает заданную точность вычислений.

Размерность спектральной плотности ШУМА – квадрат размерности ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ ДАННЫХ, отнесенный к квадрату размерности частоты. Таким образом, спектральная плотность ШУМА имеет размерность, обратную квадрату длины.

Для того чтобы определить влияние эффектов квантования на оценку СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА, необходимо оценить дисперсию ИСХОДНЫХ ДАННЫХ для одного из изображений, используемых для вычисления СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА. Если значение дисперсии превышает 0,25, то шумами квантования можно пренебречь. Если же значение дисперсии менее 0,25, ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ считают непригодными для определения СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА.

Примечание – Обычно дисперсия ИСХОДНЫХ ДАННЫХ превышает четверть интервала квантования. Но если число разрядов квантования очень мало, дисперсия может оказаться менее этого значения. Дисперсия шумов квантования, равная 1/12, соответствует аналоговому сигналу (подвергаемому аналого-цифровому преобразованию), равномерно распределенному в интервале квантования [2].

Если СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА определяется вдоль диагонали (угол 45° к горизонтальной или вертикальной оси), то усреднение отдельных отсчетов выполняют подобно тому, как это описано в данном разделе для усреднения отсчетов из рядов или колонок, но уже при использовании отсчетов, расположенных вдоль диагонали. Для увеличения точности определения *NPS* проводят усреднение данных сечений, расположенных под углом 45°, из различных областей интереса.

6.3.3 Определение ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ (MTF)

ФУНКЦИЮ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ (*MTF*) определяют вдоль двух взаимно перпендикулярных осей, каждая из которых параллельна рядам или колонкам МАТРИЦЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ, соответственно.

Для определения *MTF* должна быть использована вся длина функции «профиля» края (*ESF*), полученная в пределах области интереса (*ROI*), приведенной на рисунке 1.

Определяют целое число рядов или колонок *N*, через которые проходит край ТЕСТ-ОБЪЕКТА до того момента, пока линия края не начнет пересекать пиксели соответственно из следующей колонки или ряда. Для этого могут быть использованы различные методы. Один из них заключается в определении угла α между краем ТЕСТ-ОБЪЕКТА и колонками или рядами МАТРИЦЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ и расчете значения *N* по формуле:

$$N = \text{round}\left(\frac{1}{\text{tg}(\alpha)}\right),$$

где round – означает округление до ближайшего целого значения.

Примечание – Выбранный диапазон значений угла α приводит к тому, что значения *N* находятся в интервале от 20 до 40.

Для получения функции «профиля» края *ESF* используют ЛИНЕАРИЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ, соответствующие значениям яркости пикселей (см. 6.3.1), *N* последовательных рядов или колонок, расположенных поперек линии края. Значение яркости первого пикселя в первом ряду (колонке) дает первый отсчет функции «профиля» края, первое значение яркости пикселя во втором ряду (колонке) – второй отсчет, а первое значение пикселя в *N*-м ряду (колонке) – *N*-й отсчет. Эту процедуру повторяют для других пикселей в *N* последовательных рядах (колонках), например, значение второго пикселя в первом ряду (колонке) дает (*N*+1)-й отсчет, второго пикселя во втором ряду (колонке) – (*N*+2)-й отсчет и т.д.

Примечание – Для более полной информации см. [14].

Эту процедуру повторяют для других групп, содержащих *N* последовательных рядов (колонок) расположенных вдоль линии края. Далее полученные функции «профилей» края усредняют и результирующую функцию используют для оценки *MTF*.

Предполагается, что расстояние между отсчетами является постоянным и равным размеру пикселя Δx, деленному на *N*, то есть имеем $\mathrm{ESF}(x_n)$, где $x_n = n\dfrac{\Delta x}{N}$. Затем дифференцируют функцию «профиля» края с использованием следующего набора коэффициентов: [–1, 0, 1] или [–0,5, 0, 0,5] для получения функции рассеяния линии (*LSF*). Влияние спектрального сглаживания за счет дифференцирования конечного числа отсчетов может быть скорректировано с использованием процедуры, представленной в [6]. Затем вычисляют дискретное преобразование Фурье от функции рассеяния линии, модуль которого представляет собой ФУНКЦИЮ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ *MTF*. *MTF* нормируют к значению на нулевой частоте. Поскольку расстояние от отдельных пикселей до края вычисляют вдоль линии, направление которой не перпендикулярно к краю ТЕСТ-ОБЪЕКТА (оно совпадает с направлением одной из осей), допускается введение масштабирующей поправки вдоль оси частот (коэффициент масштабирования равен 1/cos α).

Примечание – Если не проводить корректировку с использованием коэффициента масштабирования, ошибка в определении положения отсчетов на оси ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЧАСТОТ не превысит 0,1 %.

Для получения значений *MTF* в тех точках на оси ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЧАСТОТ, которые будут представлены в отчете (см. раздел 7), выполняют усреднение функции в интервале частот $2f_{int}$ [мм$^{-1}$] ($f - f_{int} \le f \le f + f_{int}$, см. 6.3.2.4 для f_{int}) вокруг этих точек на оси ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЧАСТОТ.

7 Формат представления результатов

При представлении результатов оценки КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ в отчете фиксируют следующие параметры:

– КАЧЕСТВО ИЗЛУЧЕНИЯ в соответствии с таблицей 1;

– КЕРМУ В ВОЗДУХЕ;

– расстояние от ФОКУСНОГО ПЯТНА до ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА, если оно менее 1,5 м;

– отклонение от рекомендуемой геометрии (см. 4.5);

– метод, используемый для определения *MTF*, и его обоснование, если используется метод, отличный от метода «наклонного (острого) края»;

– частоту следования изображений, используемую для задания РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ;

– коэффициент коррекции «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ *r*;

– климатические условия при проведении испытаний.

Результаты оценки *DQE* должны быть представлены в виде таблицы. Значения *DQE* должны быть представлены для значений ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЧАСТОТ: 0,5, 1, 1,5 мм$^{-1}$ и т.д. до максимальной ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ, соответствующей частоте Найквиста. В этой же таблице могут быть представлены другие необходимые параметры. Дополнительно может быть построен график в линейном масштабе по обеим осям зависимости *DQE* от ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ, причем необходимо указать в качестве параметра уровень КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ на ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА.

В общем случае значения *DQE* могут быть приведены для обеих осей: *u* и *v*. Если отношение $DQE(u,0)/\,DQE(0,v)\big|_{u=v}$ находится в пределах диапазона 0,9 – 1,1, значения *DQE* для обеих осей могут быть усреднены, а полученные усредненные значения будут характеризовать зависимость сразу для каждой из осей.

Дополнительно значения *DQE* могут быть получены для диагональных осей. В этом случае в отчете необходимо указать, что результаты приводятся для диагональных осей.

8 Точность

Погрешность оценки *DQE* должна быть определена в соответствии с [2] при использовании формулы (2) в качестве основной.

Погрешность (коэффициент перекрытия 2 в соответствии с [2]) представленных значений *DQE* должна быть менее:

$$\Delta(DQE(u)) = \pm 0{,}06 \text{ или}$$

$$\Delta(DQE(u)/\,DQE(v)) = \pm 0{,}10.$$

Если любая из погрешностей превосходит заданный уровень, ее значение должно быть представлено в отчете.

Приложение А
(справочное)

Оценка влияния «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ

Настоящее приложение содержит подробную информацию о методах для определения «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ и их коррекции. Некоторые процедуры, описанные в 6.3.2.2, будут повторены здесь для полноты изложения материала. Также см. [12].

Для подряд идущих изображений последовательности остаточные сигналы предшествующих изображений вносят корреляцию между ними. Этот эффект может быть описан как временная низкочастотная фильтрация некоррелированного квантового шума, которая уменьшает СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА и, следовательно, увеличивает оценку *DQE*. Чтобы компенсировать этот эффект необходимо оценить заниженную вследствие временной низкочастотной фильтрации дисперсию и откорректировать ее.

Дисперсия дискретного случайного значения *s* описывается или ее автоковариационной функцией (АКФ) с нулевым средним или интегралом (интегралы используются здесь для объяснения принципа) спектральной плотности мощности шума (СПМШ) $P_{ss}(f_T)$, которая представляет собой преобразование Фурье от АКФ.

$$\sigma_s^2 = \int_{-0.5}^{0.5} P_{ss}(f_T)\,df_T. \qquad (A.1)$$

Примечание – под частотой f_T в формуле А.1. следует понимать нормированную временную частоту $f_{T_{норм}} = f_T / f_{T_{выборки}}$ ($f_{T_{выборки}}$ – представляет собой частоту следования изображений в последовательности). Именно поэтому в этой формуле указаны пределы интегрирования от минус 0,5 до плюс 0,5 (значение 0,5 соответствует частоте Найквиста во временной частотной области).

Если значение s некоррелировано, т.е. представляет собой белый шум, ее СПМШ является постоянной величиной:

$$P_{ss}(f_T) = \sigma_s^2. \qquad (A.2)$$

Однако, «ОСТАТОЧНЫЕ» СИГНАЛЫ вносят временную корреляцию, которая может быть описана коррелированным случайным значением *g*, имеющим СПМШ $P_{gg}(f_T)$, схожую с характеристикой фильтра нижних частот.

Уменьшение дисперсии (СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА) вследствие корреляции описывается следующей формулой:

$$\frac{\sigma_g^2}{\sigma_s^2} = \frac{\int P_{gg}(f_T)\,df_T}{\int P_{ss}(f_T)\,df_T} \qquad (A.3)$$

Коррелированный сигнал g(n) появляется на выходе детектора при однородной ЭКСПОЗИЦИИ и, поэтому, СПМШ $P_{gg}(f_T)$ может быть рассчитана по измеренным данным.

Поскольку «ОСТАТОЧНЫЕ» СИГНАЛЫ не оказывают влияние на среднее значение, СПМШ на нулевой пространственной частоте не изменяется при фильтрации.

$$P_{gg}(0) = P_{ss}(0 \qquad (A.4)$$

Подставляя выражения (А.2) и (А.4) в формулу (А.3), получаем выражение, на основании которого может быть оценен коэффициент уменьшения дисперсии (коэффициент коррекции «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ), используя только СПМШ $P_{gg}(f_T)$:

$$r = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_s^2} = \frac{\int P_{gg}(f_T)\,df_T}{\int P_{gg}(0)\,df_T} \qquad (A.5)$$

На рисунке А.1 показаны влияние временной корреляции в области временных частот (значение 0,5 на оси абсцисс соответствует частоте Найквиста в области временных пространственных частот) и расчет коэффициента уменьшения шума (коэффициент коррекции «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ) (см. А.5).

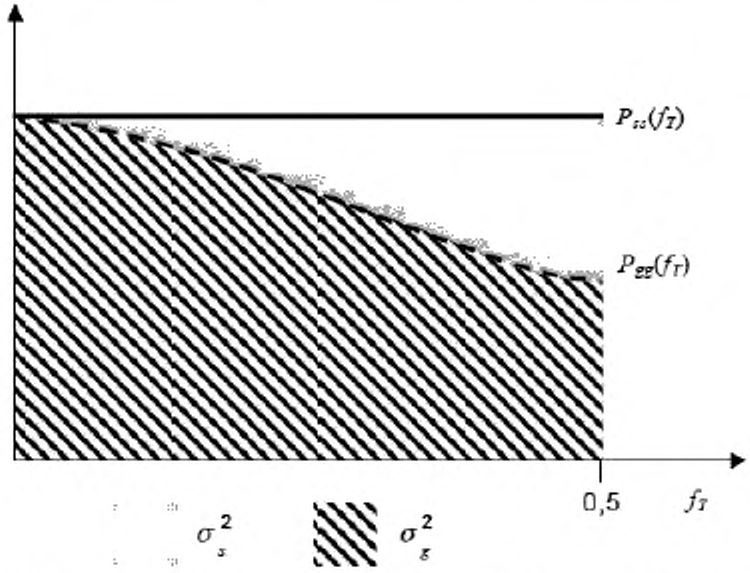


Рисунок А.1 – Спектральная плотность белого шума *s* и коррелированного сигнала *g* (показаны только положительные частоты)

Что касается практической реализации (А.5), то СПМШ должна быть оценена на основе измеренных данных. Для *N* отчетов временного сигнала $g_k(n)$ хорошо известна непараметрическая оценка СПМШ:

$$\hat{P}_{gg\,k}(f_T) = \frac{1}{N}\left|\sum_{n=1}^{N} g_k(n)\exp(-j2\pi f_T n)\right|^2 , \qquad (A.6)$$

где $g_k(n)$ – яркость пикселя *k* изображения *n* после вычитания среднего;

N – число изображений последовательности (N_{IM}).

Дисперсия оценки может быть уменьшена путем усреднения квадратов модулей спектральных плотностей для всех пикселей внутри выбранной области интереса:

$$\hat{P}_{gg}(f_T) = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}\hat{P}_{gg\,k}(f_T) . \qquad (A.7)$$

Следует помнить, что СПМШ экспонированных изображений включает в себя шумы электроники и фильтрованный квантовый шум. «ОСТАТОЧНЫЕ СИГНАЛЫ» оказывают влияние только на квантовый шум. Поскольку эти две компоненты шума некоррелированы, их СПМШ суммируют. Следовательно, компонента квантового шума может быть получена путем вычитания усредненной СПМШ темновых изображений из усредненной СПМШ экспонированных изображений.

$$\hat{P}_{gg}(f_T) = \hat{P}_{gg-exp}(f_T) - \hat{P}_{gg-dark}(f_T) . \qquad (A.8)$$

При оценке коэффициента коррекции «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ основное внимание должно быть уделено определению СПМШ на нулевой частоте. Усредненное значение квадрата спектральной плотности на нулевой частоте определяется только средним значением квадратов отчетов сигналов и, следовательно, близко к нулю вследствие выполнения процедуры вычитания средних значений. Поэтому квадрат спектральной плотности не имеет значения $P_{gg}(0)$ и, следовательно, это значение должно

быть определено отдельно. СПМШ рассчитывается, используя N_{IM} изображений. Если число изображений N_{IM} достаточно велико (СПМШ передискретизирована), СПМШ может быть хорошо восстановлена по выборке размером $N_{IM}/2$.

Примечание – Эта теорема известна в математике как теорема Уиттекера-Котельникова-Шеннона. Необходимо помнить, что эта теорема применяется к непрерывным функциям, в то время как в настоящем стандарте рассматриваются только дискретные сигналы. В то время как ядро *sinc* является преобразованием Фурье непрерывной прямоугольной функции, ядро Дирихле является преобразованием Фурье дискретной прямоугольной функции (подробнее см. [15]).

Для дальнейших измерений понадобятся только отчеты первоначальной СПМШ, имеющей нечетные номера: $f_T = \pm p/N_{IM}$, где $p = 1, 3, 5$ и т.д. Оценка СПМШ для произвольного значения частоты может быть получена как результат свертки СПМШ и преобразования Фурье дискретной прямоугольной функции (ядро Дирихле), имеющей N_{IM} отчетов. Поскольку необходимо оценить только значение СПМШ на нулевой частоте, свертка будет представлять собой взвешенное суммирование отчетов СПМШ, имеющих нечетные позиции

$$\tilde{P}_{gg}(0) = 2\sum_{n=1}^{N_{IM}/4} d_{N_{IM}/2}\left(\frac{2n-1}{N_{IM}}\right)\tilde{P}_{gg}\left(\frac{2n-1}{N_{IM}}\right) \quad , \tag{A.9}$$

где $d_{N_{IM}}$– преобразование Фурье модифицированной (центрированной) версии дискретного прямоугольного окна четной длины N_{IM} (см. [15]).

$$d_{N_{IM}}(f_T) = \frac{1}{N_{IM}}\frac{\sin(N_{IM}\pi f_T)}{\sin(\pi f_T)}\cos(\pi f_T) \tag{A.10}$$

Коэффициент коррекции «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ получают путем деления значения интеграла выражения (А.8), включая отдельно определенное значение на нулевой частоте, на значение интеграла выражения (А.9)

$$r = \frac{\int \tilde{P}_{gg}(f_T)\,df_T}{\int \tilde{P}_{gg}(0)\,df_T} . \tag{A.11}$$

Приложение В
(справочное)

Оценка входного СПЕКТРА МОЩНОСТИ ШУМА

Входной СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА равен ФЛЮЕНСУ (плотности потока фотонов на входе ЦИФРОВОГО ПРИЕМНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ) (см. формулу 2.134 в [4]):

$$W_{in}(u,v) = Q \ , \tag{B.1}$$

где Q – флюенс (число фотонов на единицу площади [1/мм^2]). Q определяется спектром рентгеновского излучения и уровнем КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ:

$$Q = K_a \int \frac{\Phi(E)}{E_a} dE = K_a SNR_{in}^2 \ , \tag{B.2}$$

где K_a – КЕРМА В ВОЗДУХЕ, мкГр;

E – энергия рентгеновского излучения, кэВ;

$\Phi(E)/K_a$ – спектральная плотность ФЛЮЕНСА, приведенная к дозе 1 мкГр, 1/(мм^2· кэВ· мкГр);

SNR_{in}^2 – квадрат отношения сигнал – шум, приведенный к дозе плоскости приемника, 1/(мм^2 · мкГр).

Значения, представленные в таблице 3, вычислены с использованием компьютерной программы SPEVAL. Использование других программ может привести к несколько иным результатам. Данные и программа, необходимые для вычисления SNR_{in}^2, предоставлены доктором Крамером из PTB [7].

Спектр рентгеновского излучения:

Вычисления были проведены для вольфрамового анода, угол наклона которого 12°, на расстоянии 1 м, фильтрация 2,5 мм Al, анодное напряжение увеличивали с шагом 1 кВ (в соответствии с [8]). Спектр включает характеристическое излучение.

КЕРМА В ВОЗДУХЕ:

Вычислена с использованием данных из [9].

Коэффициенты взаимодействия:

Данные взяты из базы данных XCOM, предоставленной NIST [10].

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ИСО 12232:2006	–	*
МЭК 60336	IDT	ГОСТ Р МЭК 60336–2010 «Излучатели медицинские рентгенодиагностические. Характеристики фокусных пятен»
МЭК ТР 60788:2004	IDT	ГОСТ Р МЭК/ТО 60788–2009 «Изделия медицинские электрические. Словарь»
МЭК 61267:1994	IDT	ГОСТ Р МЭК 61267–2001 «Аппараты рентгеновские медицинские диагностические. Условия излучения при определении характеристик»

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

Примечание – В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:

- IDT – идентичные стандарты.

Библиография

[1] ICRU Report 54:1996, Medical Imaging – The Assessment of Image Quality

[2] ISO/IEC Guide 98:1995, Guide to the expression of uncertainty in measurement

[3] METZ, EC., WAGNER, RF., DOI, K., BROWN, DG., NISHIKAWA, RM., MYERS, KJ. Toward consensus on quantitative assessment of medical imaging systems. Med. Phys., 1995, 22, p.p.1057 – 1061

[4] Handbook of medical imaging. Vol. 1: Physics and Psychophysics. Editors: BEUTEL, J, KUNDEL, HL., VAN METTER, RL., SPIE 2000

[5] TAPIOVAARA, MJ. and WAGNER, RF. SNR and DQE analysis of broad spectrum X-ray imaging. Phys. Med. Biol., 1985, 30, p.p. 519 – 529, and corrigendum Phys. Med. Biol. 1986, 31. p.195

[6] CUNNINGHAM, IA. and FENSTER, A. A method for modulation transfer function determination from edge profiles with correction for finite-element differentiation. Med.Phys. 14, 1987, p.p. 533 – 537

[7] SPEVAL software package version of Jan. 1995 (H. Kramer of PTB)

[8] ILES, WJ. Computation of bremsstrahlung X-ray spectra over an energy range 15 keV to 300 keV. National Radiological Protection Board Report 204, London, HMSO, 1987

[9] HIGGINS, PD. et al. Mass Energy-Transfer and Mass Energy-Absorption Coefficients, Including In-Flight Positron Annihilation for Photon Energies 1keV to 100MeV. NISTIR 4812, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg USA (1992)

[10] BERGER, MJ. and HUBBELL, JH. XCOM. Photon Cross Sections Database, NIST Standard Reference Database 8, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg USA

[11] P. R. GRANFORS and R. AUFRICHTIG, DQE(f) of an amorphous silicon flat panel x-ray detector detector parameter influences and measurement methodology. Proc. SPIE 3977, 2 – 13 (2000)

[12] B. MENSER, R.J.M.H. BASTIAENS, A. NASCETTI, M. OVERDICK and M. SIMON. Linear system models for lag in flat dynamic x-ray detectors. Proc. SPIE 5745, 430 – 441 (2005)

[13] M. OVERDICK, T. SOLF and H.-A WISCHMANN. Temporal artefacts in flat dynamic x-ray detectors. Proc. SPIE 4320, 47 – 58 (2001)

[14] E. BUHR, S. GÜNTHER-KOHFAHL, U. NEITZEL. Accuracy of a simple method for deriving the presampled modulation transfer function of a digital radiographic system from an edge image. Med. Phys. 30, 2323 – 2331 (2003).

[15] S. R. DOOLEY and A. K. NANDI. Notes on the Interpolation of Discrete Periodic Signals using Sinc Function Related Approaches. IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, VOL. 48, NO. 4, 1201 – 1203 (April 2000)

[16] IEC 62220-1.2003, Medical electrical equipment – Characteristics of digital X-ray imaging devices – Part 1: Determination of the detective quantum efficiency

[17] IEC 62220-1-2:2007, Medical electrical equipment – Characteristics of digital X-ray imaging devices – Part 1-2: Determination of the detective quantum efficiency – Detectors used in mammography

DAINTY, JC. and SHAW, R. Image Science. Academic Press, London 1974, ch. 5, p. 153

DAINTY, JC. and SHAW, R. Image Science. Academic Press, London. 1974, ch.8, p 312

DAINTY, JC. and SHAW, R. Image Science, Academic Press, London. 1974, ch.8, p. 280

SHAW, R. The Equivalent Quantum Efficiency of the Photographic Process. J. Phys. Sc., 1963, 11, p.p.199 – 204

STIERSTORFER, K., SPAHN, M. Self-normalizing method to measure the detective quantum efficiency of a wide range of X-ray detectors Med. Phys., 1999, 26. p.p.1312 – 1319

HILLEN, W., SCHIEBEL, U., ZAENGEL, T. Imaging performance of digital phosphor system. Med.Phys., 1987, 14, p.p. 744 – 751

CUNNINGHAM, IA., in Standard for Measurement of Noise Power Spectra, AAPM Report, December 1999

SAMEI, E., FLYNN, MJ., REIMANN, D.A. A method for measuring the presampled MTF of digital radiographic systems using an edge test device. Med. Phys., 1998, 25, p.p. 102 – 113

CUNNINGHAM,IA.: Degradation of the Detective Quantum Efficiency due to a Non-Unity Detector Fill Factor. Proceedings SPIE, 3032, 1997, p.p. 22 – 31

SIEWERDSEN, JH., ANTONUK, LE., EL-MOHRI, Y., YORKSTON, J., HUANG, W., and CUNNINGHAM, IA. Signal, noise power spectrum, and detective quantum efficiency of indirect-detection flat-panel imagers for diagnostic radiology. Med. Phys., 1998, 25, p.p. 614 – 628

DOBBINS III, JT. Effects of undersampling on the proper interpretation of modulation transfer function, noise power spectra, and noise equivalent quanta of digital imaging systems. Med. Phys.. 1995, 22, p.p.171 – 181

DOBBINS III. JT., ERGUN, DL., RUTZ, L., HINSHAW, DA., BLUME, H., and CLARK, DC DQE(f) of four generations of computed radiography acquisition devices. Med. Phys., 1995, 22, p.p. 1581 – 1593

SAMEI, E., FLYNN, M.J., CHOTAS, H.G., DOBBINS III, J.T. DQE of direct and indirect digital radiographic systems. Proceedings of SPIE, Vol. 4320, 2001, p.p. 189 – 197

IEC 61262-5:1994, Medical electrical equipment – Characteristics of electro-optical X-ray image intensifiers – Part 5. Determination of the detective quantum efficiency

ISO 12233:2000, Photography – Electronic still-picture cameras – Resolution measurements

ISO 15529.2007. Optics and photonics – Optical transfer function – Principles of measurement of modulation transfer function (MTF) of sampled imaging systems

ICRU Report 41, 1986: Modulation Transfer Function of Screen-Film-Systems.

Алфавитный указатель терминов

АПЕРТУРА ДИАФРАГМЫ (РАДИАЦИОННОЕ ОКНО)	rm-37-26
АППАРАТ РЕНТГЕНОВСКИЙ	rm-20-20
БЛОК ИСТОЧНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	rm-20-05
ВРЕМЯ ЭКСПОЗИЦИИ (ВРЕМЯ ОБЛУЧЕНИЯ)	rm-36-11
ГЕНЕРАТОР РЕНТГЕНОВСКИЙ	rm-20-17
ДАННЫЕ ИСХОДНЫЕ, DN	3.3.112
ДАННЫЕ ЛИНЕАРИЗОВАННЫЕ	3.8
ДАННЫЕ НЕОБРАБОТАННЫЕ	3.14
ДЕТЕКТОР ИЗЛУЧЕНИЯ	rm-51-01
ДИАФРАГМА	rm-37-29
ДОЗИМЕТР (ИЗМЕРИТЕЛЬ ИЗЛУЧЕНИЯ)	rm-50-01
ЗНАЧЕНИЕ ФОКУСНОГО ПЯТНА НОМИНАЛЬНОЕ	rm-20-14
ИЗЛУЧЕНИЕ РАССЕЯННОЕ	rm-11-13
КАЧЕСТВО ИЗЛУЧЕНИЯ	rm-13-28
КЕРМА В ВОЗДУХЕ (ВОЗДУШНАЯ КЕРМА)	rm-13-11
МАТРИЦА ИЗОБРАЖЕНИЯ	3.6
НАПРЯЖЕНИЕ АНОДНОЕ	rm-36-02
ОСЬ БАЗОВАЯ	rm-37-03
ОСЬ ЦЕНТРАЛЬНАЯ	3.1
ПИКСЕЛ	rm-32-60
ПЛОСКОСТЬ ПРИЕМНИКА ИЗОБРАЖЕНИЯ	rm-37-15
ПОВЕРХНОСТЬ ДЕТЕКТОРА	3.4
ПОЛУТЕНЬ	rm-37-08
ПРИЕМНИК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ЦИФРОВОЙ	3.5
ПУЛЬСАЦИИ АНОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ (ПРОЦЕНТНАЯ ПУЛЬСАЦИЯ)	rm-36-17
ПУЧОК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	rm-37-05
ПЯТНО ФОКУСНОЕ	rm-20-13s
РАСТР ОТСЕИВАЮЩИЙ	rm-32-06
СЛОЙ ПОЛОВИННОГО ОСЛАБЛЕНИЯ	rm-13-42
СПЕКТР МОЩНОСТИ ШУМА (NPS), W (u, v)	3.11
ТЕСТ-ОБЪЕКТ	rm-71-04
ТОК АНОДНЫЙ	rm-36-07
ТОМОГРАФИЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ	rm-41-20
ТРУБКА РЕНТГЕНОВСКАЯ	rm-22-03
УПРАВЛЕНИЕ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЕ	rm-36-46
УСИЛИТЕЛЬ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ (УРИ)	rm-32-39
УСТРОЙСТВО ПИТАЮЩЕЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ФИЛЬТР ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ	rm-21-06
ФЛЮЕНС	rm-35-02
ФУНКЦИЯ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ MTF (u, v)	3.13
ФУНКЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ	3.9
ЧАСТОТА ПРОСТРАНСТВЕННАЯ, u или v	3.2
ШУМ	3.15
ЭКСПОЗИЦИЯ (ОБЛУЧЕНИЕ)	3.10
ЭФФЕКТ ВЛИЯНИЯ «ОСТАТОЧНЫХ» СИГНАЛОВ	rm-12-09
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ КВАНТОВАЯ, DQE (u, v)	3.7
	3.3

УДК 616.71-77-034:621.882.15:006.354 ОКС 19.100 Е84 ОКП 94 4220

Ключевые слова: цифровая рентгенография, квантовая эффективность регистрации, острый край, пиксел, функция передачи модуляции, отношение сигнал/шум

Подписано в печать 07.04.2015. Формат 60x841/8.

Усл. печ. л. 3,26. Тираж 34 экз. Зак. 3570.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru