

УДК 616-073.757.1

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЦИФРОВЫХ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДО НАЧАЛА ПРИЕМА ПАЦИЕНТОВ

М.Р. Ахмедзянова¹, М.И. Зеликман², С.А. Кручинин¹, З.А. Лантух^{1,*}, И.В. Солдатов¹,
Ю.А. Васильев¹, Ю.В. Дружинина^{1,**}, А.О. Толоконский³

¹ ГБУЗ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ,
Москва, 127051, Россия

² ООО «Конструкторское бюро РентгенТест», Москва, 105318, Россия

³ Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, 115409, Россия

*e-mail: LantukhZA@zdrav.mos.ru

**e-mail: DruzhininaYV2@zdrav.mos.ru

Поступила в редакцию 18.10.2023

После доработки: 19.10.2023

Принята к публикации: 07.11.2023

Для качественной работы рентгенодиагностического оборудования и простого выявления факта неисправности наряду с техническим обслуживанием следует проводить рутинные проверки, ориентированные на рентгенолаборанта. Целью статьи являлась разработка упрощенной методики периодического технического контроля рентгеновского аппарата и проверки стабильности функционирования оборудования без использования специализированного тест-объекта. В работе представлены результаты теоретического и экспериментального исследования метода оперативной проверки работоспособности рентгенодиагностических аппаратов с цифровым приемником в условиях непрерывной работы отделения. Предлагаемый метод ориентирован на оценку работоспособности цифрового рентгенодиагностического аппарата на основании определения параметров зарегистрированного изображения «чистого» поля (изображения, полученного в отсутствие тест-объекта во входной плоскости приемника) и последующей оценки выходного отношения сигнал/шум и коэффициента передачи приемника. Был разработан алгоритм оперативного контроля работоспособности цифрового рентгенодиагностического аппарата. Экспертным способом были установлены допустимые диапазоны изменения параметров ключевых параметров изображения. В исследовании показана работоспособность метода и его простота.

Ключевые слова: оперативный контроль; обеспечение качества; цифровой рентгенодиагностический аппарат; цифровой приемник.

DOI: 10.26583/vestnik.2023.283

ВВЕДЕНИЕ

Корректное функционирование рентгеновского оборудования является обязательным условием обеспечения качества визуализации и безопасности как пациента, так и персонала. В реальной практике медицинских организаций России технический контроль аппарата выполняется при паспортизации рентгеновских кабинетов (не реже одного раза в два года) [1], при техническом обслуживании или после ремонта. Однако, опыт выполнения технической паспортизации рентгеновских кабинетов, которая по своей сути является внешним аудитом, показы-

вает, что эксплуатируемое оборудование может работать со скрытыми неисправностями. Так, только за 2022 г. при паспортизации рентгеновских кабинетов медицинских организаций г. Москвы было зарегистрировано более 50 аппаратов, не соответствующих критериям проверки. По данным агентства ЛСА, причины поломки медицинского оборудования в мировой практике разделены следующим образом: производственный брак, случайные поломки – 20 %, неправильное техническое обслуживание – 60 %, неправильная эксплуатация – 20 %. Дополнительный технический контроль, проводимый персоналом рентгеновского кабинета,

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЦИФРОВЫХ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДО НАЧАЛА ПРИЕМА ПАЦИЕНТОВ

снижает случайные поломки, своевременно обращает внимание на необходимость проведения диагностики оборудования и предотвращает появление некачественных снимков за счет неправильной эксплуатации.

Производители высокотехнологичного диагностического оборудования (компьютерные, магнитно-резонансные и позитрон-эмиссионные томографы) зачастую реализуют функцию периодического технического контроля силами пользователя. Как правило, она заключается в сканировании входящего в комплект поставки фантома, изображения которого обрабатываются в автоматическом режиме. Программное обеспечение выполняет расчет параметров качества визуализации, на основании которого может быть принято решение о корректности функционирования оборудования.

К сожалению, для рентгеновских аппаратов подобная функция самотестирования не реализована производителями. Однако, опыт коллектива авторов в выполнении контроля эксплуатационных параметров рентгеновских аппаратов позволяет предположить, что простая процедура сканирования тест-объекта для сотрудников отделения лучевой диагностики может быть излишне сложной и не реализуемой при большом потоке пациентов.

Высокое качество рентгенорадиологических исследований, связанное с минимальной лучевой нагрузкой на пациента и диагностической ценностью регистрируемых изображений, возможно только с использованием исправного рентгеновского аппарата. По этой причине в рамках жизненного цикла рентгенодиагностического оборудования наряду с техническим обслуживанием и периодическими техническими испытаниями (проводимыми аккредитованными испытательными лабораториями с периодичностью один раз в два-три года) следует проводить простые (рутинные) проверки до начала приема пациентов. Основная задача рутинных проверок состоит в том, чтобы с использованием максимально простых, ориентированных на рентгенолаборанта, методов контроля выявлять факт неисправности аппарата. При этом причина неисправности может быть определена в процессе дальнейших исследований, проводимых с привлечением представителей технических служб.

Из литературы [2] известен метод и его аппаратно-программная реализация, позволяющие оперативно оценивать состояние двух основных функциональных узлов цифрового рентгенодиа-

гностического аппарата – системы «рентгеновское питающее устройство и рентгеновский излучатель» (далее – рентгеновская часть), а также цифрового приемника. Однако необходимым условием проведения проверок в соответствии с данным методом является наличие специализированного тест-объекта, а также его точное позиционирование в центральной области цифрового рентгеновского приемника. При этом информативность метода для задач рутинного контроля, возможно, является избыточной, поскольку он ориентирован не только на обнаружение факта неисправности аппарата, но и на идентификацию этой неисправности путем оценок величин анодного напряжения, количества электричества, коэффициента передачи приемника и уровня его внутренних шумов.

Целью данного исследования была разработка упрощенной методики периодического технического контроля рентгеновского аппарата и проверки стабильности функционирования оборудования без использования специализированного тест-объекта. В работе представлены результаты теоретического и экспериментального исследования метода оперативной проверки работоспособности рентгенодиагностических аппаратов с цифровым приемником в условиях непрерывной работы отделения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Количественные характеристики качества изображения «чистого поля»

Предлагаемый метод ориентирован на оценку работоспособности цифрового рентгенодиагностического аппарата на основании определения параметров зарегистрированного изображения «чистого» поля (т.е. изображения, полученного в отсутствие тест-объекта во входной плоскости приемника). Разработка метода осуществлялась с использованием модели тракта приема и преобразования входного рентгеновского потока в цифровом приемнике, подробно описанной в [3]. В соответствии с этой моделью частотно зависимые значения уровня сигнала ($S_{\text{ВЫХ}}(u, v)$) и спектра мощности шума ($W_{\text{ВЫХ}}(u, v)$) на выходах каналов приемника оцениваются с помощью следующих выражений:

$$S_{\text{ВЫХ}}(u, v) = q \cdot \xi \cdot G \cdot MTF(u, v), \quad (1)$$

$$W_{\text{ВЫХ}}(u, v) = q \cdot \xi \cdot G^2 \cdot MTF^2(u, v) + N_{\text{ВН}}(u, v), \quad (2)$$

где q – плотность потока рентгеновских квантов на входе приемника; ξ – коэффициент поглощения рентгеновских квантов в приемнике; G – коэффициент передачи приемника; $MTF(u, v)$ – функция передачи модуляции; $N_{вн}(u, v)$ – спектр мощности внутренних шумов в каналах приемника; u и v – пространственные частоты.

В качестве оценки уровня сигнала используется среднее значение яркостей внутри подобласти изображения «чистого» поля (размер подобласти составляет порядка 100x100 пикселей). Математически это равноценно тому, что расчет проводится в области нулевых пространственных частот. Для данной области пространственных частот формулы (1) и (2) приобретают следующий вид ($MTF(0,0) = 1$):

$$S_{\text{вых}} = q \cdot \xi \cdot G, \quad (3)$$

$$W_{\text{вых}}(0,0) = q \cdot \xi \cdot G^2 + N_{\text{вн}}(0,0). \quad (4)$$

Дисперсию шумов на выходах каналов приемника ($\sigma_{\text{вых}}^2$) в этом случае можно оценить с использованием следующего выражения [2]:

$$\sigma_{\text{вых}}^2 = \frac{W_{\text{вых}}(0,0)}{A}, \quad (5)$$

где A – площадь чувствительной области парциального канала приемника.

Значение параметра ξ определяется, в основном, типом используемого сцинтиллятора, характеристики которого остаются неизменными на протяжении достаточно длительного периода времени эксплуатации оборудования. Так, например, в работе [4] отмечается неизменность характеристик сцинтилляционных детекторов в течение более 10 лет. Соответственно, для дальнейшего анализа влиянием этого параметра можно пренебречь, приняв его значение равным единице.

Исходя из сказанного, с учетом (5), перепишем выражения (3) и (4) в следующем виде:

$$S_{\text{вых}} = q \cdot G, \quad (6)$$

$$\sigma_{\text{вых}}^2 = \frac{q \cdot G^2}{A} + \sigma_{\text{вн}}^2, \quad (7)$$

где $\sigma_{\text{вн}}^2$ – дисперсия внутренних шумов приемника ($\sigma_{\text{вн}}^2 = N_{\text{вн}}(0,0)/A$).

Путем преобразования выражения (7) с учетом (6) можно получить формулу для расчета квадрата выходного отношения сигнал/шум ($Q_{\text{вых}}^2$):

$$Q_{\text{вых}}^2 = q \cdot A \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{\text{вн}}^2}{\sigma_{\text{вых}}^2}\right). \quad (8)$$

Для упрощения дальнейшего анализа примем неизменное в процессе эксплуатации приемника значение параметра A равным единице.

Дисперсию внутренних шумов приемника можно оценить на основании изображения «чистого» поля, полученного при отсутствии экспозиции или, например, в процессе экспозиции с плотно закрытыми шторками диафрагмы (при ее наличии).

В случае бесперебойной работы аппарата на прием пациентов уровень квантовых шумов значительно превосходит уровень внутренних шумов приемника, и вкладом последних в суммарный выходной шум можно пренебречь. Тогда, предполагая указанный режим работы цифрового приемника, перепишем формулу (8) в следующем виде:

$$Q_{\text{вых}}^2 = q. \quad (9)$$

Формулы (6) и (9) дают возможность получить выражение для определения параметра G :

$$G = \frac{S_{\text{вых}}}{Q_{\text{вых}}}.$$

Таким образом, определяя по изображению «чистого» поля параметры $S_{\text{вых}}$ и $Q_{\text{вых}}$, можно контролировать параметр цифрового приемника G и параметр рентгеновской части аппарата q . Значение параметра q при заданном качестве излучения на аппарате (определяется величиной дополнительной фильтрации и значением анодного напряжения) и неизменном расстоянии «фокус-приемник» зависит только от радиационного выхода рентгеновского излучателя. Данный параметр, как известно, может служить мерой «старения» рентгеновской трубки и определяется на основании измеренного значения дозы на фиксированном расстоянии от фокуса рентгеновской трубки [5, 6].

АЛГОРИТМ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕНТГЕНОВСКОГО АППАРАТА С ЦИФРОВЫМ ПРИЕМНИКОМ

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований был разработан алгоритм оперативного контроля работоспособности цифрового рентгенодиагностического аппарата, структура которого представлена на рис. 1.

**ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ РАБОТСПОСОБНОСТИ ЦИФРОВЫХ
РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДО НАЧАЛА ПРИЕМА ПАЦИЕНТОВ**

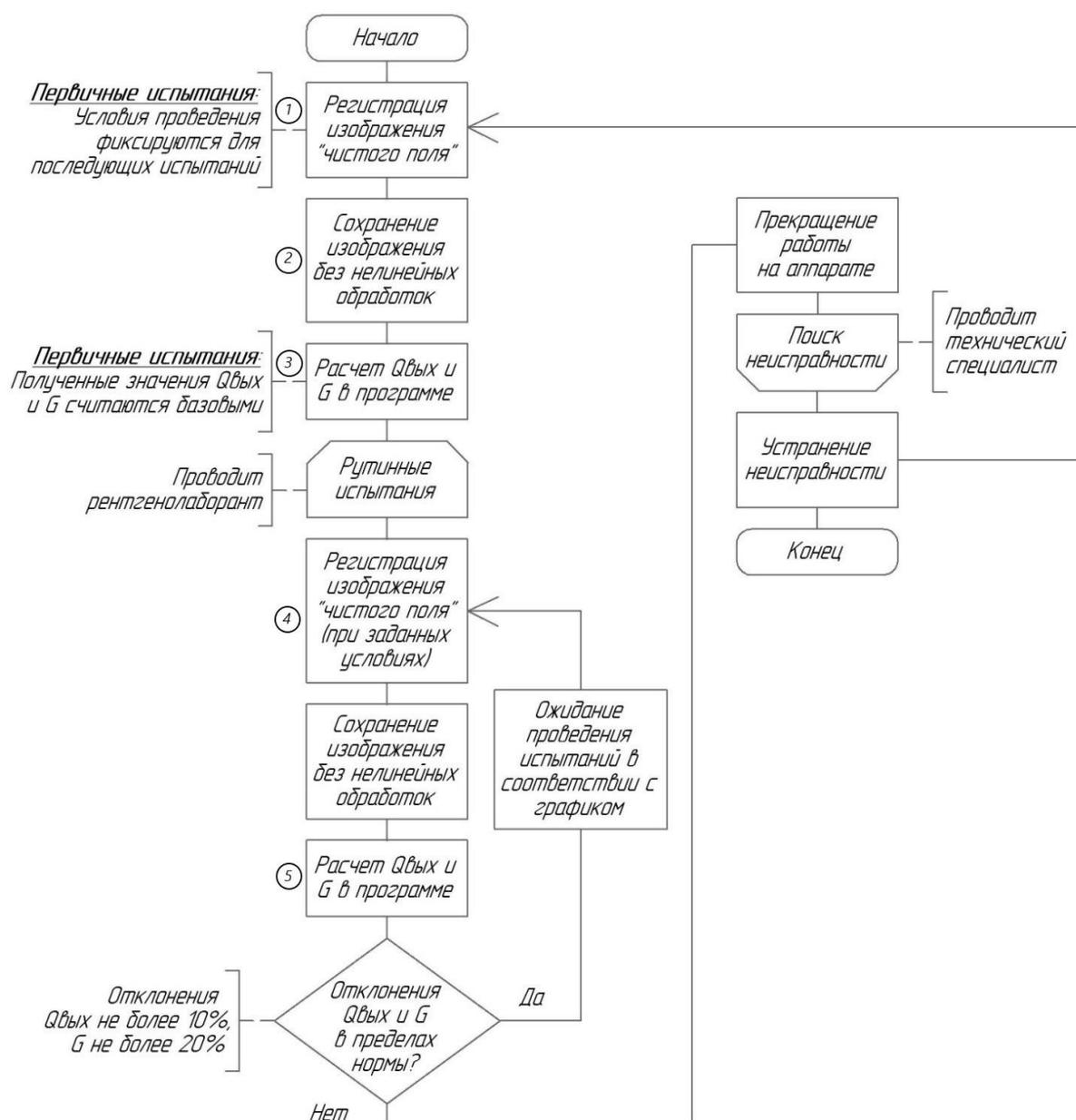


Рис. 1. Алгоритм оперативного контроля работоспособности цифрового рентгенодиагностического аппарата

Последовательность действий в соответствии с предложенным алгоритмом сводится к следующему:

1. Проводится первичное испытание на заведомо исправном аппарате с привлечением технических специалистов. В процессе данных испытаний регистрируется изображение «чистого» поля при заданных и неизменных в дальнейшем параметрах съемки. К параметрам съемки относятся уровни анодного напряжения и количества электричества, величина дополнительной фильтрации и расстояние «фокус-приемник». В случае если в аппарате имеется отсеивающий растр, он должен быть извлечен.

2. Зарегистрированное изображение должно быть сохранено с учетом отключения всех видов нелинейной обработки, а также без использования алгоритмов сжатия. Допустимы лишь виды обработок, представленные в стандарте [7].

3. С использованием специализированной программы SNR (ООО «КБ РентгенТест») по зарегистрированному изображению определяют параметры $S_{\text{вых}}$, $Q_{\text{вых}}$ и G . Полученные оценки параметров $Q_{\text{вых}}$ и G являются базовыми значениями и используются рентгенолаборантом в дальнейшем при рутинном контроле.

4. Регулярно, до начала приема пациентов рентгенолаборант воспроизводит условия проведения первичной проверки и регистрирует одно изображение «чистого» поля.

5. Далее на основании полученного изображения рассчитываются параметры $Q_{\text{вых}}$ и G . Полученные оценки автоматически сравниваются с базовыми значениями. Выход значения хотя бы одного параметра за установленные пределы (10 и 20 % соответственно) является основанием для приостановки работы рентгеновского аппарата и привлечения технического специалиста.

Чрезмерное отклонение (более 20 %) значения параметра G от базового уровня свидетельствует о неисправности приемника.

Чрезмерное отклонение (более 10 %) значения параметра $Q_{\text{вых}}$ от базового уровня будет служить сигналом к тому, что возникла неисправность в рентгеновской части аппарата. В ряде случаев причина может заключаться и в некорректной работе приемника или обоих узлов сразу.

Исследование и разработка метода оперативного контроля проводились с использованием комплекса рентгеновского диагностического цифрового «РЕНЕКС-РЦ» производства ООО «С.П. ГЕЛПИК», оснащенного плоскопанельным цифровым приемником на базе аморфного кремния (размер чувствительной поверхности приемника – 43×43 см; размер канала приемника по обеим координатам – 0.139 мм). Аппарат для апробации был выбран исходя из большой распространенности эксплуатации в практике отделения лучевой диагностики. Только в медицинских организациях Департамента здравоохранения г. Москвы на момент 2023 г. установлено более 60 подобных аппаратов. Данные рентгеновские аппараты широко применяются для массовых профилактических исследований грудной клетки.

Ежемесячно регистрировались изображения «чистого» поля при следующих параметрах съемки: величина анодного напряжения – 70 кВ, величина дополнительного алюминиевого фильтра – 22 мм (таким образом обеспечивалось качество излучения, близкое к RQA5 [6]), величина анодного тока – 100 мА, длительность экспозиции – 100 мс, расстояние «фокус-приемник» – 100 см. Размер радиационного поля был ограничен границами линий центрального перекрестия, нанесенного на поверхность кожуха с цифровым приемником (контроль осуществлялся по световому полю).

Используемые параметры съемки практически гарантировали выполнение условия, заключающегося в обеспечении пренебрежимо малого вклада внутренних шумов приемника в оценку суммарного шума на выходах каналов детектора. Так, за все время наблюдений вклад внутреннего шума в оценку суммарного шума приемника не превышал 1 %.

В процессе проведения исследований отсеивающий растр был извлечен из кожуха приемника. Расчет параметров $S_{\text{вых}}$, $Q_{\text{вых}}$ и G осуществлялся с помощью разработанного программного обеспечения. При сохранении изображений были отключены все виды нелинейных обработок. Измерение дозы во входной плоскости цифрового приемника проводилось с использованием дозиметра универсального для контроля характеристик рентгеновских аппаратов Piranha R&F/M 657, который во время исследований располагался по центру на поверхности кожуха приемника (расстояние от фокуса рентгеновского излучателя до поверхности кожуха приемника составляло 96.5 см).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Была разработана упрощенная методика периодического технического контроля рентгеновского аппарата и проверки стабильности функционирования оборудования без использования специализированных тест-объектов.

В табл. 1 представлены результаты исследования. Первая строка таблицы отражает первичные (исходные) значения оцениваемых параметров, а остальные (с порядковыми номерами 2–7) – результаты ежемесячной проверки. В таблице также присутствуют столбцы с нормированными значениями параметров (данные значения получены путем деления соответствующих величин на результаты первичных испытаний). За все время наблюдений измеренные значения дозы во входной плоскости приемника варьировались в диапазоне 15.62–17.05 мкГр.

Из представленных в табл. 1 данных видно, что в ходе проведения исследований оцененные значения отношения сигнал/шум ($Q_{\text{вых}}$) отличались от первоначальных данных не более чем на 5 %. Данный диапазон отклонений соответствует диапазону колебаний измеренных значений дозы. Таким образом, оценка $Q_{\text{вых}}$ позволяет контролировать состояние рентгеновской части аппарата. Также из таблицы видно, что отклонение рассчитанных значений коэффициента

**ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЦИФРОВЫХ
РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДО НАЧАЛА ПРИЕМА ПАЦИЕНТОВ**

передачи приемника (G) от исходных данных при неизменном в процессе исследований коэффициенте передачи в приемнике не превышает 4 %.

Экспертным способом были установлены допустимые диапазоны изменения параметров $Q_{\text{вых}}^2$ и G равными ± 20 %, а допустимый диапазон изменения параметра $Q_{\text{вых}}$ составил ± 10 %.

На используемом в исследовании комплексе рентгеновском диагностическом цифровом «РЕНЕКС-РЦ» производства ООО «С.П. ГЕЛ-ПИК» была дважды выполнена процедура контроля эксплуатационных параметров рентгеновского аппарата согласно [8] до начала и в период проведения исследования. Подтверждена техническая исправность аппарата и возможность эксплуатации рентгеновского аппарата в медицинской организации.

Таблица 1. Результаты исследования

Номер измерения	$S_{\text{вых}}$	$S_{\text{вых}}$, нормир. знач.	$Q_{\text{вых}}$	$Q_{\text{вых}}$, нормир. знач.	G	G , нормир. знач.
1	8853.43	1.00	58.05	1.00	2.63	1.00
2	8802.60	0.99	58.09	1.00	2.61	0.99
3	8271.65	0.93	55.06	0.95	2.73	1.04
4	8640.50	0.98	58.03	1.00	2.57	0.98
5	8823.60	1.00	58.16	1.00	2.61	0.99
6	8631.70	0.97	56.23	0.97	2.73	1.04
7	8410.90	0.95	55.99	0.96	2.68	1.02

ОБСУЖДЕНИЕ

На данный момент проверка технического состояния рентгеновского аппарата осуществляется один раз в два года в рамках технической паспортизации, а также при первичной установке оборудования. Процедура контроля эксплуатационных параметров рентгеновского аппарата проводится по [8] и включает в себя проверку параметров и характеристик рентгеновского и питающего устройства и рентгеновского излучателя, параметров и характеристики тракта формирования рентгеновских изображений и механических характеристики штативных устройств. При этом контролируются качество излучения, точность установки анодного напряжения и длительности экспозиции, форма кривой анодного напряжения, линейность изменения дозы излучения, уровень радиационного выхода рентгеновского излучателя, совпадение оптического и рентгеновского полей, перпендикулярность рабочего пучка по отношению к поверхности приемника рентгеновского изображения. Для оценки качества работы цифрового приемника могут контролироваться следующие характеристики: размер рабочего поля, неравномерность распределения яркости в поле изображения, геометрические искажения, пространственная разрешающая способность, контраст-

ная чувствительность, квантовая эффективность регистрации как функция пространственных частот и дозы в плоскости приемника, отношение сигнал/шум [8]. Все эти методы проводятся квалифицированным инженерным составом, предполагают определенную подготовку и использование испытательного оборудования.

В литературе встречаются способы оценки качества рентгеновских изображений с помощью тест-объектов. Так, например, в работе [9] описан способ объективной оценки качества цифровых изображений, которая осуществлялась по отношению сигнал/шум изображения пластины теста контрастной чувствительности (ТКЧ) с использованием специального объекта, состоящий из ТКЧ и теста пространственного разрешения, размещенных за водным фантомом, имитирующим среднего пациента. Данный способ объективной оценки качества цифровых изображений позволил определить оптимальные режимы регистрации снимков органов грудной клетки для цифровых рентгенографических аппаратов с целью минимизации дозовой нагрузки на пациентов.

На повышение точности контроля и сокращение времени проведения технической проверки направлены патенты [10, 11] за счет использования контрольной прямоугольной рентгеноконтрастной мелкоструктурной решетки,

примыкающей к входному окну приемника излучения, последующий визуальный анализ и измерение изображения контрольной решетки на экране видеомонитора, подключенного к компьютеру в первом случае, и за счет использования и получения изображений устройства для оценки функции передачи модуляции приемника рентгеновского изображения по методу «острого края» во втором случае.

На упрощение проверки технического состояния рентгеновского аппарата до начала приема пациентов и получение в ее процессе проверки однозначного ответа об исправности узлов рентгеновского аппарата направлен также патент [12]. Предлагается использование тест-объекта, представляющего собой квадратную алюминиевую подложку, на поверхности которой закреплены шесть пластин разной формы и толщины. Оценка полученных изображений проводится также по значениям отношения сигнал/шум и коэффициента передачи приемника рентгеновского изображения. Время, необходимое на проведение тестирования, не превышает 5–10 мин.

В работе [13] выдвигается предположение о возможности использования изображений, засвеченных рентгеновским излучением поля для объективного контроля параметров цифрового приемника без использования тест-объектов.

С учетом развития PACS-систем может быть использовано программное обеспечение для автоматической обработки результатов и уведомления ответственного сотрудника медицинской организации о необходимости диагностики работы аппарата. Метод разработан на универсальном рентгеновском диагностическом комплексе «РЕНЕКС-РЦ» с возможностью малодозовой флюорографии, широко применяемом для проведения профилактических исследований органов грудной клетки. Комплекс рентгеновский диагностический цифровой «РЕНЕКС-РЦ» является достаточно распространенным аппаратом, в медицинских организациях Департамента здравоохранения г. Москвы числится более 60 таких аппаратов, а комплексов рентгеновских диагностических цифровых «РЕНЕКС-2», оснащенных аналогичным плоскопанельным цифровым приемником – более 120 шт., что составляет около 20 % парка рентгеновских аппаратов г. Москвы. Результаты выполненных процедур контроля качества показали применимость описанного подхода.

Отклонение предложенных характеристик от референсного (установленного при техническом

контроле) уровня может говорить о вероятной поломке. Это важная проблема, так как по информации из ежегодного отчета форма № 30 [14] в медицинских организациях г. Москвы в 2022 г. числилось 685 единиц рентгеновских аппаратов, из которых 28 % не работали. Согласно данным модуля управления материальным обеспечением Единой медицинской информационно-аналитической системы г. Москвы (УМО ЕМИАС) простой аппаратов из-за неисправности занимает лидирующую позицию в списке причин неэффективной работы оборудования отделений лучевой диагностики. В масштабах мегаполиса это приводит к огромной нагрузке на систему здравоохранения и значительным финансовым расходам: требуется заказ запчастей, выполнение ремонта, перенаправление пациентов, оплата простоя медицинского персонала. Актуально обеспечение корректного функционирования оборудования и для радиационной безопасности, в том числе – персонала [15, 16]. И это мы не учитываем вопросы недостаточной диагностики пациентов из-за отказов от выполнения исследований.

Разработанный метод при условии незначительной модернизации может быть применен не только для рентгенодиагностических аппаратов, но и для ангиографов, маммографов, двухэнергетических рентгеновских денситометров и компьютерных томографов, в том числе и в автоматизированном режиме обработки данных [17]. Контроль двух последних групп оборудования особенно актуален в связи с их использованием в количественных измерениях, требующих метрологического обеспечения. Отдельно следует сказать о количественных измерениях, выполняемых в лучевой диагностике. Применительно к данной категории диагностического оборудования это, в первую очередь, минеральная плотность кости [18, 19]. А если мы говорим об измерениях, контроль корректности функционирования применяемого в качестве средства измерения оборудования особенно важен с точки зрения метрологического обеспечения.

Предложенный подход, если внедрить его в практику медицинских организаций Департамента здравоохранения г. Москвы, с учетом наличия Единого Радиологического Информационного Сервиса ЕМИАС, позволит с минимальной нагрузкой на персонал медицинских организаций обеспечить постоянный мониторинг всего парка оборудования.

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЦИФРОВЫХ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДО НАЧАЛА ПРИЕМА ПАЦИЕНТОВ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была разработана упрощенная методика периодического технического контроля рентгеновского аппарата и проверки стабильности функционирования оборудования. Разработка была проведена на комплексе рентгеновском диагностическом цифровом «РЕНЕКС-РЦ» производства ООО «С.П. ГЕЛПИК». В исследовании показана работоспособность метода.

Предлагаемый метод позволяет определять факт неисправности рентгенодиагностического аппарата с цифровым приемником без использования каких-либо тест-объектов во входной плоскости детектора. Метод прост в реализации: время, затрачиваемое на проведение испытаний, как правило, не превышает 5 мин. Оперативный контроль работоспособности цифровых рентгенодиагностических аппаратов рекомендуется проводить до начала приема пациентов не реже одного раза в неделю.

ОГРАНИЧЕНИЯ

Ограничением исследования является факт разработки метода на одном аппарате – комплекс рентгеновский диагностический цифровой «РЕНЕКС-РЦ» в течение всего шести месяцев. Для внедрения метода в практику медицинских организаций требуется расширить число аппаратов и моделей аппаратов при апробации метода.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИОКР «Разработка и создание аппаратно-программного комплекса для оппортунистического скрининга остеопороза», (№ ЕГИСУ: 123031400007-7) в соответствии с приказом от 21.12.2022 № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям, подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения г. Москвы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хальфин Р.А. Технический паспорт на рентгеновский диагностический кабинет, утвержденный Руководителем Департамента организации и развития медицинской помощи населению, Минздрава России. 02.08.2002 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902282084> (дата обращения 29.09.2023).
2. Кручинин С.А. Методика рутинного контроля цифровых рентгенодиагностических аппаратов // Медицинская техника, 2019. Т. 5. С. 32–34.
3. Зеликман М.И. Цифровые системы в медицинской рентгенодиагностике. М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2007. С. 208.
4. Гринев. Б.В., Никулина Р.А., Вершинина С.П., Виноград Э.Л. Исследование старения сцинтилляционных детекторов // Атомная энергия. 1991. Т. 70. № 1. С. 50–51.
5. Основы рентгенодиагностической техники / Под ред. Н.Н. Блинова: Учебное пособие. М.: Медицина, 2002. С. 392.
6. МР № 0100/12883-07-34. Определение радиационного выхода рентгеновских излучателей медицинских рентгенодиагностических аппаратов. М.: Роспотребнадзор, 2008.
7. ГОСТ ИЕС 62220-1-2011. Изделия медицинские электрические. Характеристики цифровых приемников рентгеновского изображения. Ч. 1. Определение квантовой эффективности регистрации. М.: Стандартинформ, 2013. С. 28.
8. МР № 16. Методы и аппаратно-программные средства оценки параметров и характеристик цифровой рентгенодиагностической аппаратуры в условиях эксплуатации (утв. Департаментом здравоохранения г. Москвы 24.04.2009). М., 2009.
9. Бехтерев А.В., Лабусов В.А., Лохтин Р.А., Пьянов Д.А., Строков И.И., Храмов М.С. Поиск объективных критериев качества цифровых рентгеновских изображений для оптимизации режимов их регистрации по отношению качество/доза // Russian Electronic Journal of Radiology, 2019. Т. 9. № 1. С. 160–176. DOI: 10.21569/2222-7415-2019-9-1-160-176.
10. Кантер Б.М., Ратобильский Г.В., Серова Е.В., Черный А.Н. Патент № 2352254. Российская Федерация, МПК А61В6/03. Способ контроля геометрического качества изображения цифрового рентгенодиагностического аппарата. Заявка № 2007139041/14, 23.10.2007. Опубликовано 20.04.2009.
11. Блинов Н.Н., Зеликман М.И., Кабанов С.П., Кручинин С.А. Патент № 2330612. Российская Федерация, МПК А61В6/03. Устройство для оценки функции передачи модуляции приемников рентгеновского изображения по методу «острого края». Заявка № 2006139874/14, 14.11.2006. Опубликовано 10.08.2008.
12. Зеликман М.И., Кручинин С.А. Патент № 2714447. Российская Федерация, МПК А61В6/03.

Способ контроля и оценки работоспособности основных узлов цифрового рентгеновского аппарата и устройство для его осуществления. Заявка № 2019125650, 14.08.2019. Опубликовано 17.02.2020.

13. *Мазуров А.И.* Оценка параметров цифровых приемников по равномерно засвеченному рентгеновскими лучами рабочему полю // Увидеть невидимое: Сб. науч. тр. / Под. ред. А.И. Мазурова. СПб.: Книжный Дом, 2008. С. 152–156.

14. Отчет форма № 30 «Сведения о медицинской организации» Департамента здравоохранения г. Москвы за 2022 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=44&documentId=45678> (дата обращения: 29.09.2023).

15. *Ryzhkin S.A., Druzhinina Y. V., Ohrimenko S.E., Lantukh Z.A. and etc.* Problems of personnel irradiation in modern medical technologies // Digital Diagnostics. 2023. V. 4. № 2. P. 142–155. DOI: 10.17816/DD375327.

16. Основы менеджмента медицинской визуализации / *С.П. Морозов, Л.Д. Линденбратен, П.Г. Габай*

[и др.]. М.: ООО Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа», 2020. 432 с. DOI: 10.33029/9704-5247-9-MEN-2020-1-424.

17. *Кручинин С.А., Васильев Ю.А., Петряйкин А.В.* Программное обеспечение для контроля технического состояния рентгеновского излучателя и цифрового детектора рентгенодиагностических систем общего назначения (DTG). Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023665712 от 19.07.2023.

18. *Петряйкин А.В., Скрипникова И.А.* Количественная компьютерная томография, современные данные. Обзор // Медицинская визуализация. 2021. Т. 25. № 4. С. 134–146. DOI:10.24835/1607-0763-1049.

19. *Петряйкин А.В., Ахмад Е.С., Семенов Д.С., Артюкова З.Р., Кудрявцев Н.Д., Петряйкин Ф.А., Низовцова Л.А.* Сравнение двух энергетических денситометров различных моделей // Травматология и ортопедия России. Т. 28. № 2. С. 48–57. DOI: 10.17816/2311-2905-1731.

Vestnik Natsional'nogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta «MIFI», 2023, vol. 12, no. 6, pp. 357–367

OPERATIONAL MONITORING OF THE OPERABILITY OF DIGITAL X-RAY DIAGNOSTIC DEVICES BEFORE THE START OF PATIENT ADMISSION

M.R. Akhmedzyanova¹, M.I. Zelikman², S.A. Kruchinin¹, Z.A. Lantukh^{1,}, I.V. Soldatov¹, Y.A. Vasilev¹,
Yu.V. Druzhinina^{1,**}, A.O. Tolokonskiy³*

¹*Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, 127051, Russia*

²*Limited Liability Company «Design Bureau Rentgentest», Moscow, 105318, Russia*

³*National Nuclear Research University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, 115409, Russia*

**e-mail: LantukhZA@zdrav.mos.ru*

***e-mail: DruzhininaYV2@zdrav.mos.ru*

Received October 18, 2023; revised October 19, 2023; accepted November 07, 2023

For qualitative work of X-ray diagnostic equipment and simple detection of the fact of malfunction should be carried out routine checks and focused on the X-ray operator. The purpose of the article was to develop a simplified approach to periodical technical control of X-ray equipment and to verify the equipment functioning stability without the use of a specialized test object. The article presents the results of theoretical and experimental study of the method of operative checking the operability of X-ray diagnostic machines with digital receptor in the conditions of continuous functioning of the department. The presented method is oriented on the estimation of digital X-ray diagnostic apparatus operability based on the determination of the parameters of the registered image obtained in the absence of the test-object in the input plane of the receptor and the further estimation of the output signal-to-noise ratio and the receptor transmission coefficient. An algorithm for operational control of the digital X-ray diagnostic apparatus efficiency was developed. The expert method was used to determine the valid ranges of key image parameters changes. The study shows the operability of the method and its simplicity.

Keywords: operational control; quality control; digital X-ray diagnostic apparatus; digital receptor.

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЦИФРОВЫХ
РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДО НАЧАЛА ПРИЕМА ПАЦИЕНТОВ

REFERENCES

1. *Khalfin R.A.* Tekhnicheskij pasport na rentgenovskij diagnosticheskij kabinet approved by the Head of the Department of Organization and Development of medical care to the population, Ministry of Health of Russia. 02.08.2002 g. [Technical passport for the X-ray diagnostic office. 02.08.2002]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902282084> (accessed 29.09.2023) (in Russian).
2. *Kruchinin S.A.* Metodika rutinnogo kontrolya cifrovyh rentgenodiagnosticheskikh apparatov [Methodology of routine control of digital X-ray diagnostic devices]. Medicinskaya tekhnika, 2019. Vol. 5. Pp. 32–34 (in Russian).
3. *Zelikman M.I.* Cifrovye sistemy v medicinskoj rentgenodiagnostike [Digital systems in medical X-ray diagnostics]. Moscow, JSC «Publishing House «Medicine»» Publ., 2007. 208 p. (in Russian).
4. *Grinev B.V., Nikulina R.A., Vershinina S.P., Vinograd E.L.* Issledovanie starenija scintillyacionnyh detektorov [Investigation of aging of scintillation detectors] *Atomnaya energiya*, 1991. Vol. 70. No. 1. Pp. 50–51 (in Russian).
5. *Osnovy rentgenodiagnosticheskij tekhniki*. Uchebnoe posobie. pod red. N.N. Blinova [Fundamentals of X-ray diagnostic technology. Textbook. Edited by N.N. Blinov]. Moscow, Medicine Publ., 2002. 392 p. (in Russian).
6. MR No. 0100/12883-07-34. «Opredelenie radiacionnogo vyhoda rentgenovskih izluchatelej medicinskih rentgenodiagnosticheskikh apparatov» [MR No. 0100/12883-07-34. «Determination of the radiation output of X-ray emitters of medical X-ray diagnostic devices»]. Moscow: Rospotrebnadzor Publ., 2008 (in Russian).
7. GOST IEC 62220-1-2011. Izdeliya medicinskie elektricheskie. Harakteristiki cifrovyh priemnikov rentgenovskogo izobrazheniya. CHast' 1. Opredelenie kvantovoj effektivnosti registracii. [State Standard IEC 62220-1-2011. Medical electrical products. Characteristics of digital X-ray image receivers. Part 1. Determination of the quantum efficiency of registration]. Moscow: Standartinform Publ., 2013. 28 p. (in Russian).
8. MR No. 16 «Metody i apparatno-programmnye sredstva ocenki parametrov i harakteristik cifrovij rentgenodiagnosticheskij apparatury v usloviyah ekspluatatsii» utverzhdennye Departamentom zdravoohraneniya goroda Moskvy 24.04.2009 [MR No. 16. «Methods and hardware and software tools for evaluating the parameters and characteristics of digital X-ray diagnostic equipment under operating conditions» approved by the Department of Health of the City of Moscow on 24.04.2009]. Moscow, 2009 (in Russian).
9. *Bekhterev A.V., Labusov V.A., Lokhtin R.A., Pyanov D.A., Stokov I.I., Khramov M.S.* Poisk ob'ektivnyh kriteriev kachestva cifrovyh rentgenovskih izobrazhenij dlya optimizacii rezhimov ih registracii po otnosheniyu kachestvo/doza [Search for objective quality criteria for digital x-ray images to optimize their acquisition modes in terms of the quality/doze ratio]. *Russian Electronic Journal of Radiology*, 2019. Vol. 9. No. 1. Pp. 160–176. DOI: 10.21569/2222-7415-2019-9-1-160-176 (in Russian).
10. *Kanter B.M., Ratobylsky G.V., Serova E.V., Cherniy A.N.* Sposob kontrolya geometricheskogo kachestva izobrazheniya cifrovogo rentgenodiagnosticheskogo apparata [A method for controlling the geometric image quality of a digital X-ray diagnostic device]. Patent RF, no. 2352254, IPC A61B6/03. Application No. 2007139041/14, 23.10.2007. Published 20.04.2009 (in Russian).
11. *Blinov N.N., Zelikman M.I., Kabanov S.P., Kruchinin S.A.* Ustrojstvo dlya ocenki funkcii peredachi modulyacii priemnikov rentgenovskogo izobrazheniya po metodu «ostrogo kraja» [A device for evaluating the modulation transmission function of X-ray image receivers using the «sharp edge» method]. Patent RF, No. 2330612, IPC A61B6/03. Application No. 2006139874/14, 14.11.2006. Published on 10.08.2008 (in Russian).
12. *Zelikman M.I., Kruchinin S.A.* Sposob kontrolya i ocenki rabotosposobnosti osnovnyh uzlov cifrovogo rentgenovskogo apparata i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya [A method for monitoring and evaluating the operability of the main components of a digital X-ray machine and a device for its implementation]. Patent RF, No. 2714447, IPC A61B6/03. Application no. 2019125650, 14.08.2019. Published on 17.02.2020 (in Russian).
13. *Mazurov A.I.* Ocenka parametrov cifrovyh priemnikov po ravnomerno zasvechennomu rentgenovskimi luchami rabochemu polyu [Estimation of parameters of digital receivers on the working field uniformly illuminated by X-rays]. *Sbornik nauchnyh trudov «Uvidet' nevidimoe»*. pod red. A.I. Mazurova [Collection of scientific papers «To see the invisible»]. edited by A. I. Mazurov]. St. Petersburg, «Book House» Publ., 2008. Pp. 152–156 (in Russian).
14. Svedeniya o medicinskoj organizacii [Information about a medical organization] Report Form no. 30, Moscow Department of Health, 2022. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=44&documentId=45678> (accessed 29.09.2023) (in Russian).
15. *Ryzhkin S.A., Druzhinina Y.V., Ohrimenko S.E., Lantukh Z.A. and etc.* Problems of personnel irradiation in modern medical technologies. *Digital Diagnostics*, 2023. Vol. 4. No. 2. Pp. 142–155. DOI: 10.17816/DD375327
16. *Morozov S.P., Lindenbraten L.D., Gabay P.G. et al.* Osnovy menedzhmenta medicinskoj vizualizacii [Basic principles of medical organization management]. Moscow, Limited liability company GEOTAR-Media Publishing Group, 2020. Pp. 432. ISBN 978-5-9704-5247-9. DOI: 10.33029/9704-5247-9-MEN-2020-1-424 (in Russian).
17. *Kruchinin S.A., Vasilev Y.A., Petraikin A.V.* Programmnoe obespechenie dlya kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya rentgenovskogo izluchatelya i cifrovogo detektora rentgenodiagnosticheskikh sistem

obshchego naznacheniya (DTG). [Software solution to monitor the technical condition of X-ray scanners and digital detectors of general-purpose X-ray diagnostic devices (DTG)]. Computer software registration certificate, no. 2023665712, 19.07.2023 (in Russian).

18. *Petraikin A.V., Skripnikova I.A.* Kolichestvennaya komp'yuternaya tomografiya, sovremennye dannye. Obzor [Quantitative Computed Tomography, modern data. Review]. *Medicinskaya vizualizaciya*, 2021. Vol. 2. No. 4. Pp. 134–146. DOI: 10.24835/1607-0763-1049 (in Russian).

19. *Petraikin A.V., Akhmad E.S., Semenov D.S., Artyukova Z.R., Kudryavtsev N.D., Petriikin F.A., Nizovtsova L.A.* Sravnenie dvuhenergeticheskikh densitometrov razlichnykh modelej [Different Models of Dual-Energy Bone DXA Scanners: A Comparative Study]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*, 2022. Vol. 28. No. 2. Pp. 48–57. DOI: 10.17816/2311-2905-1731 (in Russian).