

отмечены «хорошие функциональные качества аппарата». По общему мнению сотрудников этого Центра, а также специалистов ФГКУ «Главный военный клинический госпиталь им. акад. Н.Н. Бурденко», применение портативного аппарата в практике стоматологического отделения улучшило качество работы врача-стоматолога в различных клинических ситуациях, а также повысило интенсивность лечебно-диагностического процесса, поскольку позволило проводить диагностику непосредственно в стоматологическом кабинете, выбирать тактику и осуществлять контроль за проводимым лечением [7].

## Заключение

Достиженные после модернизации массогабаритные характеристики портативного дентального аппарата «ПАРДУС-Р» не являются конечными. Дополнительно проведенные оценки показывают, что в случае использования специализированной дентальной рентгеновской трубки вес аппарата может быть снижен до рекордного на сегодняшний день значения – 1,5 кг. Соответственно будут уменьшены и габариты аппарата при полном сохранении диагностических и потребительских качеств.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта по теме «Создание портативной установки для микрофокусной рентгенографии с целью оперативного контроля микроструктуры, физико-химических свойств и определения остаточного ресурса авиационных деталей и узлов из полимерных композиционных материалов». Номер проекта 15-19-00259.*

## Список литературы:

1. Потрахов Е.Н. Портативные рентгенодиагностические комплексы семейства «ПАРДУС» // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2009. № 4 (28). С. 100-101.
2. Васильев А.Ю., Петровская В.В., Перова Н.Г., Серова Н.С., Алпатова В.Г., Потрахов Н.Н., Грязнов А.Ю., Потрахов Е.Н., Селягина А.С. Малодозовая микрофокусная рентгенография в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии // Радиология-практика. 2011. № 6. С. 26-33.

3. Климов А.С., Гребнев Г.А., Сливкин А.А., Иорданишвили А.К., Потрахов Н.Н. О совершенствовании амбулаторной стоматологической помощи военнослужащим из числа молодого пополнения // Военно-медицинский журнал. 2013. Т. 334. № 3. С. 4-11.
4. Потрахов Н.Н., Грязнов А.Ю., Барковский А.Н. Радиационная нагрузка при проведении рентгенодиагностических исследований методом микрофокусной рентгенографии // Радиационная гигиена. 2008. Т. 1. № 1. С. 1-5.
5. Отчет по НИР № 1/121 «Разработка предложений по совершенствованию технических характеристик портативного цифрового рентгенодиагностического комплекса «ПАРДУС-Стом» / СПбГЭТУ. ВМА им. С.М. Кирова. 28.01.2008 г. 45 с.
6. Потрахов Е.Н. Радиационная нагрузка при применении портативных рентгеновских аппаратов семейства «ПАРДУС» в стоматологии // Медицинская техника. 2012. № 5. С. 37-40.
7. Протокол № 1/2014 «О проведении пострегистрационных клинических испытаний портативного рентгенодиагностического стоматологического острофокусного комплекса «ПАРДУС-Стом» / Москва. ФКУ «МУНКЦ им. П.В. Мандрыка» Минобороны России. 22.01.2014 г. 6 с.

Николай Николаевич Потрахов,  
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,  
Юрий Николаевич Потрахов,  
аспирант,  
кафедра электронных приборов и устройств,  
ведущий инженер,  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)»,  
г. С.-Петербург,  
e-mail: kzhmova@gmail.com

Б.М. Кантер, Б.В. Артемьев, Л.В. Владимиров, И.Б. Артемьев

## Проблемы рентгеновской медицинской диагностики

### Аннотация

В статье проанализированы текущие проблемы медицинской рентгеновской диагностики. Рассмотрена конструкция проходной ионизационной камеры для регистрации дозы и мощности дозы в широком диапазоне энергий тормозного излучения. Поставлены вопросы унификации оборудования и создания универсальной цифровой платформы для рентгенотерапевтических аппаратов как основы для производства современных, производительных, безопасных и надежных рентгенотерапевтических аппаратов с различными вариантами исполнения по напряжению и мощности питающего устройства от единиц до десятков киловатт. Рассмотрены также: состояние рентгенодиагностики в целом и качество рентгеновских аппаратов; проблема измерения дозы облучения пациентов техногенного происхождения; применение цифровых технологий, позволяющих получать качество цифровых изображений, не уступающее и даже превосходящее качество пленочных снимков при одновременном существенном снижении эффективной дозы на обследование, использование преимуществ компьютерной обработки; лечение нозологической группы заболеваний с помощью лучевой терапии; потребность в радиотерапевтических системах с линейными медицинскими ускорителями электронов; радиационная безопасность персонала и населения; малогабаритные передвижные технические средства, позволяющие проводить рентгенодиагностические исследования у пациента; юридические и технические аспекты. Предложена специализированная программа для оценки квантовой эффективности регистрации цифровых приемников рентгеновского изображения, работающих в динамическом режиме.

Круглый стол, прошедший 4 марта в рамках деловой программы форума «Территория NDT-2016» по теме «Проблемы медицинской рентгеновской диагностики», был посвящен основным проблемам медицинской рентгеновской диагностики, включая анализ аппаратов для рентгенотерапии с системами мониторинга лечебной дозы и мощности дозы; внедрению цифровых методов регистрации ионизирующего излучения, а также встроенным системам контроля рентгеновских диагности-

ческих аппаратов. Организаторы: ООО «СпектрАП», ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», ФГБУ «ВНИИИИМТ» и Испытательный лабораторный центр ООО «КАНОН». На заседании круглого стола были заслушаны и обсуждены следующие темы.

В докладе «Квазिवоздухоэквивалентная ионизационная камера для регистрации радиационного выхода рентгенотерапевтических аппаратов» авторы Л.В. Владимиров, И.Б. Артемьев, А.А. Козлов (ЗАО «НИИИИ МНПО «СПЕКТР») рас-

сказали о созданной в Институте интроскопии воздухоэквивалентной ионизационной камере (рис. 1), необходимой для работы в составе диагностических рентгеновских комплексов совместно с рентгенотерапевтическими аппаратами для близкофокусной и дистанционной терапии, у которых диапазон анодных напряжений изменяется от 10 до 250 кВ. При этом фильтрация излучения изменяется от собственной фильтрации выходного окна рентгеновской трубки  $\sim 0,7$  мм Ве при  $U_a = 10$  кВ и до 4 мм Си при  $U_a = 250$  кВ.

Основной задачей данной проходной ионизационной камеры [1], [2] является регистрация терапевтической дозы и мощности дозы в широком диапазоне энергий тормозного излучения. При этом камера, установленная на выходе излучателя, не должна влиять на характеристики тормозного спектра излучения, особенно при низких значениях напряжения генерирования излучения и отсутствии дополнительной фильтрации.

Эта цель была достигнута за счет создания проходной плоскопараллельной ионизационной камеры с электродами из Al – С и отверстием в ее центре, что обеспечивало регистрацию тормозного излучения в заданном диапазоне энергий; при этом материал и толщина стенок камеры не влияли на спектр и интенсивность рабочего пучка во всем диапазоне энергий, используемых в рентгенотерапии.

В докладе д.т.н. Б.М. Кантера, М.Ю. Авшарова, Л.В. Владимирова, В.А. Лыгина, К.Н. Самсонова («СпектрАП») «Универсальная цифровая платформа для рентгенотерапевтических аппаратов близкофокусной и длиннофокусной рентгенотерапии» были сформулированы основные требования и предложены пути их выполнения для оборудования подобного класса. Универсальная цифровая платформа для рентгенотерапевтических аппаратов – это основа для производства современных, производительных, безопасных и надежных рентгенотерапевтических аппаратов с различными вариантами исполнения по напряжению и мощности питающего устройства от единиц до десятков киловатт. Использование единой платформы для аппаратов близкофокусной и длиннофокусной рентгенотерапии позволяет снизить издержки, связанные с эксплуатацией, техническим обслуживанием и обучением медицинского персонала, и позволяет эксплуатировать аппараты разных типов в единой информационной базе.

Аппарат может включать в себя одно или несколько рабочих мест: рентген-лаборанта, врача-рентгенолога, причем можно установить несколько однотипных рабочих мест, которые будут работать с общей базой пациентов. Рабочее место врача-рентгенолога позволяет автоматизировать составление плана лечения пациента. Для этого в программном обеспечении имеется возможность вести расписание работы врачей и кабинетов, учитывать характеристики аппаратуры, распределять нагрузку на кабинеты, врачей и лаборантов, искать имеющихся и вводить новых пациентов, составлять шаблоны процедур

и сеансов, использовать шаблоны при планировании, вводить характеристики облучаемых органов, тканей и образований, составлять план, комплексно учитывать лучевую нагрузку на каждое поле и на цели, вести дневниковые записи состояния пациентов, создавать документы «План терапии» и «Справка о проведении лучевой терапии». Применение универсальной цифровой платформы позволит гибко и автоматически назначать сеансы облучения с учетом графика работы кабинетов, врачей, лаборантов, праздников и т. п., отслеживать исполнение сеансов по дозе, оперативно управлять назначениями: сдвигать по времени и переносить на другие дни, составлять отчет о лучевой нагрузке и загрузке кабинетов, вести учет состояния оборудования, невыходов и замены персонала, обмениваться данными с медицинской информационной системой медицинского учреждения, передавать списки сеансов облучения на рабочие места лаборантов. Все операции по созданию сеансов утверждаются авторизацией врача – паролем или специальным аппаратным ключом, есть возможность подписывать назначения личной электронной подписью врача. Безопасность назначения и проведения сеансов лечения гарантируется проверкой с сигнализацией и блокировкой, если проверка подписи не прошла и в назначение были внесены неавторизованные изменения.

Рабочее место лаборанта позволяет: выбирать сеанс из списка назначений; проводить экспозицию по автоматически установленным для выбранного пациента параметрам экспозиции; контролировать ход экспозиции по мониторам облучения и монитору мощности облучения; приостанавливать, останавливать, досрочно прекращать экспозицию при необходимости (продолжение сеанса автоматически учитывает экспозицию, сделанную пациенту до прерывания); выводить на печать протокол проведения сеанса облучения; вести визуальное наблюдение за полем облучения; отмечать причину отмены сеанса и вести записи о состоянии пациента.

Система управления рентгенотерапевтическим аппаратом автоматически отслеживает правильность установки тубуса и фильтра, закрытие дверей терапевтического кабинета, работу системы охлаждения трубки, общий контроль мощности высоковольтного питающего устройства и рентгеновской трубки, контроль работы аппарата по рентгеновскому выходу, ведется раздельный учет рабочего времени питающего устройства и рентгеновской трубки с фиксацией отклонений рабочих параметров от заданных. Непрерывный мониторинг мощности дозы и контроль параметров питающего устройства позволяют исключить любые ошибки и сбои в работе оборудования, гарантировать максимальную безопасность пациента.

В докладе «Пути оптимизации доз облучения пациентов при проведении рентгеновских диагностических исследований» авторов С.Е. Охрименко, Н.А. Аكوпова, С.И. Иванова

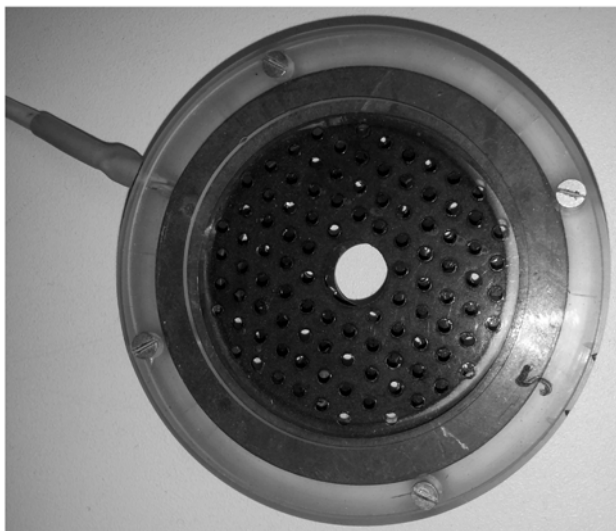


Рис. 1. Воздухоэквивалентная ионизационная камера

(кафедра радиационной гигиены ГБОУ ДПО РМАПО МЗ РФ) обсуждалось медицинское облучение пациентов. Медицинское облучение (облучение пациентов), несмотря на техногенную природу данного вида излучения, традиционно не относится к техногенному и не нормируется. Вместе с тем именно этот источник стоит на 2-м месте по вкладу в коллективную дозу. Применение радиации для медицинского облучения пациентов составляет более 95 % антропогенного облучения, и в качестве источника облучения выше только естественный радиационный фон. По данным Р.В. Ставицкого, в начале 1990-х годов все население нашей страны подвергалось облучению средней индивидуальной дозой 1,2...1,5 мЗв/год. В 1998 году средняя доза жителя Москвы составила 1,82 мЗв.

Работы по контролю качества рентгеновских аппаратов впервые в нашей стране в массовом масштабе (как обязательная процедура в рамках лицензирования медицинской деятельности) начали проводиться в Москве с 2000 года. Выяснилось, что 32,8 % аппаратов нуждались в ремонте и наладке. Работы проводились с применением неинвазивных методов контроля. Мониторинг доз облучения пациентов показал необходимость инструментальной оценки доз облучения в связи с тем, что расчетные методы имели высокую степень погрешности.

Мониторинг доз облучения изменил отношение медицинских работников к проблеме облучения пациентов от состояния «полное безразличие» к состоянию «высокое внимание». Средняя индивидуальная доза облучения пациентов при проведении рентгеновских диагностических исследований за это время снизилась более чем в 2 раза. Динамика изменения представлена на рис. 2.

Снижение доз облучения пациентов стало возможным благодаря мониторингу доз облучения и контролю качества рентгеновских аппаратов, что сформировало целенаправленную мотивацию сотрудников ЛПУ и органов здравоохранения, а также способствовало реализации программы замены аналоговых рентгеновских аппаратов на цифровые.

В четвертом докладе «Современная цифровая рентгенография (флюорография) и томография высокого разрешения в выявлении и диагностике туберкулеза» авторы Г.В. Ратобильский, М.М. Никитина (НИИ фтизиопульмонологии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова) сосредоточились на применении цифровых технологий, позволяющих получать качество цифровых изображений, не уступающее и даже превосходящее качество пленочных снимков (флюорограмм) при одновременном существенном снижении эффективной дозы на обследование.

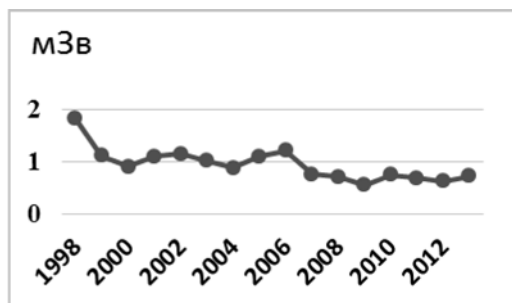
Сегодня преимуществом цифровой рентгенографии (флюорографии) перед традиционной пленочной является качество цифровых рентгенограмм, определяемое превышением пространственного разрешения в 1,5 раза (7 пар линий/мм), по динамическому диапазону в 60 раз (2000 отн. ед.), при достижении контрастной чувствительности, предельной для рентгеновской пленки (0,5 %) в условиях предельно низкой эффективной дозы (3 мкЗв). Этапом в совершенствовании цифровой рентгенодиагностической техники является создание мало-

зовых аппаратов с высоким пространственным разрешением, предельно высокой контрастной чувствительностью и высоким динамическим диапазоном при условии минимизации дозы облучения, позволяющих диагностировать патологию органов на ранних этапах ее появления и развития.

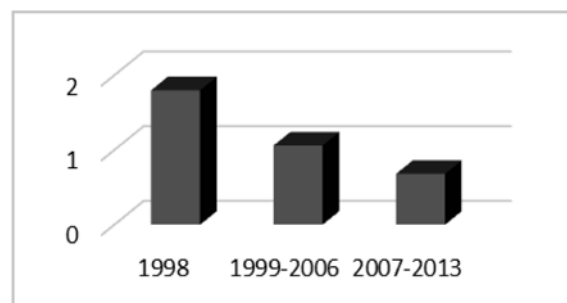
Аппарат на три рабочих места кроме копии и рентгенографии осуществляет еще и цифровую линейную томографию (цифровой томосинтез) выбранной анатомической области в вертикальном, горизонтальном положениях и полипозиционно. Метод томосинтеза позволяет из массива суммарных рентгенологических данных, полученных при одном сканировании исследуемой зоны, произвести оптимальную реконструкцию от одного до нескольких сотен срезов. По качеству изображения томосинтез приближается к мультисрезовой компьютерной томографии (МСКТ), а с учетом уменьшения лучевой нагрузки на 20...30 % по сравнению с МСКТ, метод цифрового томосинтеза займет достойное место в арсенале уточняющей диагностики различных видов патологий.

Пятый доклад «Наведенная активность на линейных медицинских ускорителях и ее вклад в дозу облучения персонала» был сделан Д.М. Защириным (Испытательный лабораторный центр ООО «КАНОН») в соавторстве с О.С. Сидоровым и Л.В. Владимировым. В мире ежегодно растет количество людей с онкологическими заболеваниями. Одним из основных и активно развивающихся методов лечения этой нозологической группы является лучевая терапия, поэтому потребность в радиотерапевтических системах с линейными медицинскими ускорителями электронов очень велика. Авторы поставили вопросы радиационной безопасности населения и медицинского персонала, постоянно работающего с системами для лучевой терапии с энергиями фотонного излучения более 10 МэВ. При работе на таких энергиях в конструктивных элементах установки и вспомогательном оборудовании появляется наведенная активность, создающая повышенный уровень гамма-излучения. Авторами были проведены измерения этой величины. На основании полученных дозиметрических данных была рассчитана доза, которую может получить персонал во время укладки пациента. Измерения проводились на различных системах для лучевой терапии фирмы «Varian Medical Systems» и «Elekta Limited» при энергиях излучения от 6 до 18 МэВ. При энергиях 6 и 10 МэВ наведенная активность практически отсутствовала или была незначительной и быстро убывала. При энергиях 15 и 18 МэВ мощность дозы гамма-излучения на рабочем месте у стола пациента через 1 мин после окончания облучения составила 13,1 и 17,2 мкЗв/ч, а через 8 мин – 4,0 и 5,6 мкЗв/ч соответственно. Остаточного нейтронного излучения при измерениях не обнаружено. Эти данные использовались для оценки вклада наведенной активности в индивидуальную дозу персонала.

Оценка дозы облучения персонала выполнялась для максимально неблагоприятных условий, когда все процедуры проводили при максимальной энергии, мощности дозы и времени экспозиции пучка фотонного излучения в изоцентре. При расчете использовались следующие исходные данные: количество



а)



б)

Рис. 2. Динамика средних индивидуальных доз облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований (ПРИ) по данным РГП Москвы за 1998-2013 гг. (а); изменение средних индивидуальных доз облучения пациентов при ПРИ по периодам: до 1998 г.; 1999-2006 гг.; 2007-2013 гг. (б)

пациентов в смену – 25; время, которое персонал проводит в процедурной около ускорителя при подготовке пациента к процедуре и после ее окончания, – 10 мин. Общее время, которое персонал проводит в течение года в процедурной у стола с пациентом и может подвергаться облучению от наведенной активности, составило 1042 ч. В результате при энергии пучка 15 МэВ дополнительный вклад в индивидуальную дозу облучения персонала может достигать 7,1 мЗв, а при энергии 18 МэВ – 10,5 мЗв в год.

Наведенная активность обусловлена фотонейтронами, которые образуются под воздействием пучка фотонного излучения с энергией более 10 МэВ по реакции ( $\gamma, n$ ). Продолжительность жизни свободного нейтрона в вакууме составляет  $\approx 15$  мин. В реальных условиях фотонейтроны будут испытывать сначала упругое рассеивание, при этом меняя направление движения и отдавая часть своей кинетической энергии ядрам отдачи, а после, при неупругом рассеянии (радиационный захват), происходит испускание  $\gamma$ -квантов по обратной реакции ( $n, \gamma$ ). По результатам расчета из полученных экспериментальных данных период полураспада наведенной активности составляет около 4 мин. Величина мощности амбиентного эквивалента дозы быстро убывает со временем.

Действующие нормативные документы не требуют установления запретного периода по радиационному фактору. Вклад наведенной активности в дозу облучения персонала является существенным, и его необходимо учитывать либо при расчете допустимой мощности дозы на рабочих местах персонала, либо, руководствуясь принципом оптимизации, устанавливать время запретного периода на вход персонала в процедурную после завершения сеанса облучения. Авторы предложили установить величину запретного периода не менее 4 мин.

В шестом докладе А.Ю. Васильева (ГБОУ ВПО МГМСУ) и Н.Н. Потрахова, В.Б. Бессонова (ФГАОУ ВО СПбГЭТУ) на тему «Возможности проведения рентгенодиагностических исследований в неспециализированных условиях» анализировалась возможность использования малогабаритных передвижных технических средств, позволяющих проводить рентгенодиагностические исследования в неспециализированных условиях, например на дому у пациента. Для этого авторы предложили использовать аппаратуру с микрофокусной рентгеновской трубкой [3]. Они представили первый отечественный портативный рентгеновский аппарат (рис. 3) семейства «Пардус».

Доклад «Особенности оценки квантовой эффективности регистрации цифровых приемников рентгеновского изображения, работающих в динамическом режиме» авторов М.И. Зеликмана, С.А. Кручинина был посвящен цифровым ангиографическим системам и хирургическим аппаратам с цифровыми приемниками рентгеновского изображения на основе твердотельных плоских панелей. Особенность приемников для систем рассматриваемых типов заключается в том, что они формируют цифровые рентгеновские изображения в динамическом режиме – до нескольких десятков изображений в секунду.

Для оценки эффективности работы цифровых приемников рентгеновского изображения предлагается использовать обобщенную характеристику качества формируемых изображений – квантовую эффективность регистрации – как функцию пространственных частот и дозы в плоскости приемника  $[DQE(u, v)]$ . Методика определения этой характеристики для динамических систем представлена в ГОСТ Р МЭК 62220-1-3-2013 «Изделия медицинские электрические. Характеристики цифровых приемников рентгеновского изображения», который вступил в действие 1 января 2015 года. Данная методика имеет ряд существенных отличий от аналогичных методик, применяемых при испытаниях цифровых приемников рентгенографических систем для общей диагностики и маммографии (ГОСТ ИЕС 62220-1-2011 «Изделия медицинские электрические. Характеристики цифровых приемников рентгеновского изображения. Часть 1. Определение квантовой эффективности регистрации» и ГОСТ Р МЭК 62220-1-2-2010 «Изделия медицинские электрические. Характеристики устройств для получения цифровых рентгеновских изображений. Часть 1-2. Определение квантовой эффективности регистрации. Детекторы, используемые при маммографии»). Основное из отличий заключается в том, что при испытаниях динамических систем обработке и анализу подлежат не отдельные зарегистрированные в процессе экспозиции цифровые рентгеновские изображения, а серии этих изображений. При этом получается оценка квантовой эффективности регистрации корректируется с учетом коэффициента корреляции парциальных изображений в серии.

Авторами разработана специализированная программа «DQE (u,v)\_Dynamic» для оценки квантовой эффективности регистрации цифровых приемников рентгеновского изображения, работающих в динамическом режиме. Данная программа имеет свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2011619659. Структурно пользовательский интерфейс реализован отдельными программными «окнами».

В «Настройках» задаются основные параметры для расчетов, среди них: размеры пиксела по координатам  $x$  и  $y$ , дискрет по частоте; определяющий шаг при формировании отчетов для функции передачи модуляции (MTF), спектра мощности шума (NPS) и квантовой эффективности регистрации; качество излучения; максимальный угол наклона тест-объекта «наклонный край»; число разрядов квантования сигнала яркости в случае инвертирования яркости изображения – трансформации «негатив»-«позитив» и т. п. Задаются также размеры областей для расчета функции преобразования, функции передачи модуляции, коэффициента корреляции парциальных изображений, спектра мощности шума, ошибок квантования. После осуществления настроек переходят к выбору функции, которую предстоит оценить, из списка: функция преобразования, функция передачи модуляции, спектр мощности шума и квантовая эффективность регистрации – или к расчету коэффициента корреляции отдельных изображений из выбранной серии, оценке отношения  $DQE(u) / DQE(v)$  и др.

Последовательность проведения испытаний с целью оценки  $DQE(u, v)$  динамических систем сводится к оценке:



Рис. 3. Портативный рентгеновский аппарат «Пардус»

- функции преобразования по зарегистрированным сериям изображений «чистого поля», полученным при различных дозах (керма в воздухе) в плоскости приемника;
- функции передачи модуляции по серии изображений тест-объекта;
- степени корреляции отдельных изображений в серии;
- спектра мощности шума и квантовой эффективности регистрации.

При «загрузке» серий изображений и проведении расчетов предложено учитывать следующее: в программу вводится значение дозы, полученное в процессе регистрации всей серии изображений. Доза, приходящаяся на одно изображение, рассчитывается автоматически как частное введенной оператором дозы и количества изображений в серии. При оценке степени корреляции отдельных изображений количество экспонированных (зарегистрированных при наличии экспозиции) и «темновых» (полученных без экспозиции) изображений в сериях должно совпадать.

На рис. 4 в качестве примера представлены зависимости квантовой эффективности регистрации от пространственной частоты  $\nu$  при различных значениях дозы в плоскости приемника. Кривые получены для твердотельной панели на основе аморфного кремния производства компании «Varian», установленной на ангиографическом комплексе «Infipix» производства компании «Toshiba». Размер приемника – 400 x 300 мм, размер приемного элемента – 194 мкм по каждой из пространственных координат. Для расчета DQE использовались серии изображений, полученные при следующих условиях: частота регистрации парциальных изображений – 10 кадр/с, длительность экспозиции для каждого парциального изображения (каждого импульса) – 12 мс, общее время импульсной рентгенооскопии – 10 с. Таким образом, каждая серия содержала по 100 изображений.

Представленное в работе программное обеспечение используется в настоящее время при проведении испытаний цифровых приемников рентгеновского изображения, работающих в динамическом режиме.

Заключительным стал доклад «Дозиметрический контроль персонала рентгеновских аппаратов для неразрушающего контроля» К. Нурлыбаева и Ю. Мартынюка (НПП «Доза»), С.В. Логиновой (РМАПО) о дозиметрическом контроле рабочих мест и индивидуальном дозиметрическом контроле персонала с применением термолюминесцентных и электронных дозиметров. Интегральные дозиметры корректно работают в дозиметрии импульсных излучений, в то же время испытания электронных приборов контроля радиационной обстановки, дозиметров для контроля рабочих мест и индивидуальных дозиметров не включают в себя проверку их работы в полях импульсных излучений. Вышеуказанные приборы имеют ограниченные возможности по измерению мощности дозы излучений, а в импульсных излучениях возможны очень высокие значения мощностей доз при невысоких значениях доз в импульсах.

Операционной величиной в дозиметрии внешнего облучения импульсными излучениями является доза облучения. В связи с тем, что импульсные источники излучения работают эпизодически, необходимы параметры работы источников, на которые можно нормировать измеренные значения дозы. Необходимо, чтобы значение дозы было прямо пропорционально значению данного параметра работы источников. Все нормативные документы Роспотребнадзора предписывают методы дозиметрического контроля, основанные на измерениях мощности дозы излучения. Мощность дозы является производной величиной от дозы облучения и вычисляется делением измеренного значения дозы на время измерения. Значение мощности дозы характеризует радиационную обстановку для непрерывных излучений.

Необходимы разработки методик дозиметрического контроля импульсных излучений и испытания электронных дозиметров в импульсных полях ионизирующего излучения.

#### Список литературы:

1. Владимирова Л.В., Артемьев И.Б., Артемьев Б.В. Камеры для мониторинга ионизирующих излучений / В сборнике: II Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники. Программа и материалы конференции. 2015. С. 53-58.
2. Владимирова Л.В., Козлов А.А., Артемьев И.Б. Особенности проектирования систем автоматического экспонирования для рентгеновских аппаратов медицинской диагностики / В сборнике: Проблемы взаимодействия ВУЗов, НИИ и РАН по подготовке инженерных и научных кадров по неразрушающему контролю и технической диагностике. Доклады сессии и круглых столов форума «Территория NDT-2015». ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», 2015. С. 102-108.
3. Потрахов Н.Н. Метод и особенности формирования теневого рентгеновского изображения микрофокусными источниками излучения // Вестник новых медицинских технологий. 2007. Т. 14. № 3. С. 167-169.

Борис Менделевич Кантер,  
д-р техн. наук, зам. директора,  
начальник отдела,

Борис Викторович Артемьев,  
д-р техн. наук, профессор,  
ученый секретарь,

Лев Владимирович Владимиров,  
д-р техн. наук, зав. сектором,

Игорь Борисович Артемьев,  
инженер-электронщик,  
ЗАО «НИИИИ МНПО «СПЕКТР»,  
г. Москва,

e-mail: boris@artemiev.su

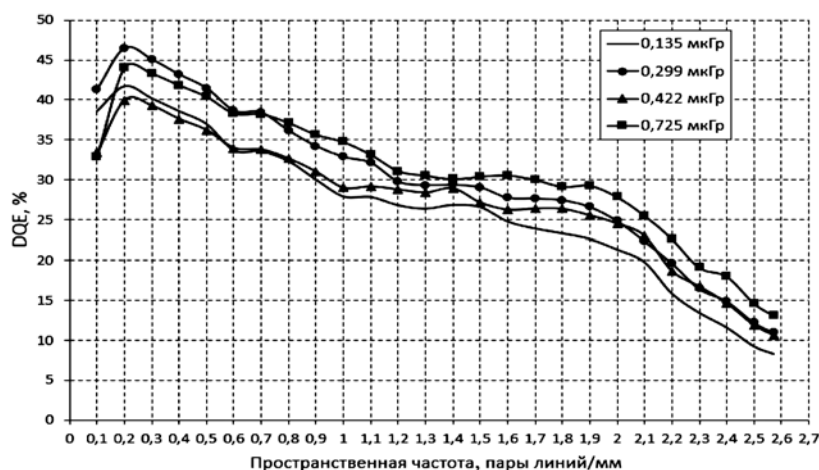


Рис. 4. Характеристики DQE( $\nu$ ) при различных значениях дозы