

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА АНОДЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ ПО ГЕНЕРИРУЕМОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

В работе рассмотрена проблема измерения анодного напряжения рентгеновских излучателей по генерируемому ими излучению. Методом имитационного моделирования проведена оценка оптимальности применения коэффициента приведенного рассеяния в качестве критерия для определения анодного напряжения. Представлены результаты моделирования, отражающие зависимость коэффициента приведенного рассеяния от условий возбуждения излучения и параметров фантома. Показано, что результаты моделирования качественно согласуются с экспериментальными данными, а коэффициент приведенного рассеяния может использоваться в качестве критерия для определения анодного напряжения

Ключевые слова: радиационный киловольтметр, коэффициент приведенного рассеяния, анодное напряжение, рентгеновские аппараты.

При эксплуатации рентгеновских аппаратов необходимо проводить контроль электрических и радиационных параметров в соответствии с требованием СанПиН 2.6.1.1192-03 [1]. Основными параметрами, подлежащими контролю, являются анодное напряжение, величина собственной фильтрации излучения и слой половинного ослабления. Соответствие указанных параметров нормированным значениям обеспечивает безопасную работу рентгеновского оборудования и соблюдение принципа решения диагностических задач при минимальном облучении пациентов и персонала.

В условиях лечебно-профилактических учреждений измерение анодного напряжения контактным методом невозможно, поскольку нарушаются условия электробезопасности и требуется частичная разборка аппарата с целью подключения измерительного оборудования.

Для измерения анодного напряжения применяют радиационные киловольтметры, реализующие, как правило, двухэнергетическую методику измерений [2, 3].

Альтернативным радиационным методом измерения анодного напряжения может служить метод, предложенный в работе [4]. В основе этого метода лежит идея одновременной регистрации первичного рентгеновского излучения, ослабленного в веществе фантома заданной формы, и вторичного излучения, возбуждаемого в объеме фантома. В качестве измерительного критерия предлагается использовать коэффициент приведенного рассеяния (КПР), введенный в [5] и определяемый как отношение

сигналов детекторов, регистрирующих ослабленное и рассеянное излучение.

При прочих равных условиях соотношение интенсивностей рассеянного и ослабленного пучков будет определяться спектральным составом излучения, падающего на фантом, а значит, будет зависеть от величины анодного напряжения и суммарной фильтрации излучения.

Форму, геометрические размеры и материал фантома можно подобрать таким образом, чтобы абсолютное изменение коэффициента приведенного рассеяния было максимальным в заданном диапазоне анодных напряжений, а характер калибровочной зависимости описывался бы относительно простой математической функцией. Однако подбор оптимальных параметров фантома на практике является очень трудоемкой задачей.

Цель исследования заключается в доказательстве применимости коэффициента приведенного рассеяния в качестве критерия определения напряжения на аноде рентгеновской трубки, и выявлении оптимальных условий при которых измерение КПР обеспечит максимальную точность определения анодного напряжения на рентгеновской трубке.

Для достижения поставленной цели устанавливается зависимость КПР от анодного напряжения, определяется диапазон энергий генерируемого излучения, в котором обеспечивается максимальное изменение КПР и какими факторами обусловлено это изменение, оценивается зависимость изменения КПР от геометрических размеров образца, выбираются оптимальные размеры фантома, проводится экспе-

риментальное исследование оптимальности данных критериев.

Теоретическое исследование проводилось с помощью математического моделирования. Имитационная модель радиационного киловольтметра [6] была реализована в среде математического пакета MathCAD. Результаты экспериментального исследования получены с использованием действующего макета радиационного киловольтметра (РК), набора пластин из алюминия и рентгеновского аппарата 12Л7УР.

В результате моделирования были получены зависимости коэффициента приведенного

рассеяния от анодного напряжения и величины дополнительной фильтрации излучения в алюминиевом эквиваленте для цилиндрического фантома из фторопласта-4 с форм-фактором равным четырем. Под форм-фактором, в данном случае, понимается отношение высоты цилиндра к его радиусу.

На рисунке 1 приведены графики зависимостей коэффициента приведенного рассеяния от анодного напряжения, рассчитанные для нескольких значений дополнительной фильтрации (высота фантома при расчете составляла 4 см, а диаметр 2 см, плотность материала фантома $2,15\text{г/см}^3$).

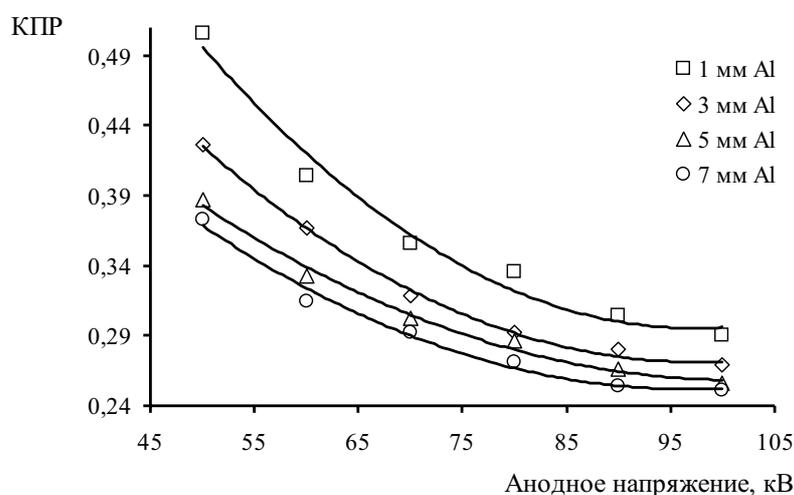


Рисунок 1. Характер изменения коэффициента приведенного рассеяния в зависимости от анодного напряжения при толщине дополнительного алюминиевого фильтра 0,1; 0,3; 0,5 и 0,7 см.

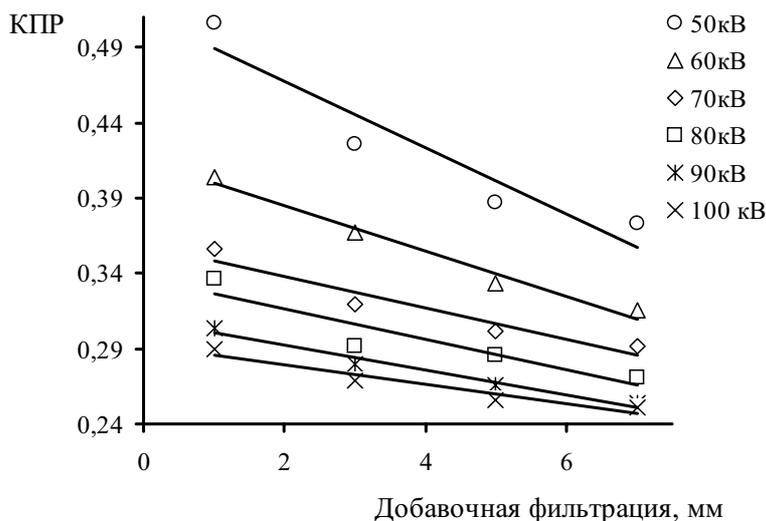


Рисунок 2. Расчетные зависимости коэффициента приведенного рассеяния от дополнительной фильтрации при различных значениях анодного напряжения

Зависимость КПР от напряжения хорошо описывается полиномиальной функцией второго порядка.

Видно, что при меньших напряжениях изменение фильтрации излучения приводит к большим изменениям КПР. Причем результаты расчетов показывают, что при заданном напряжении КПР квазилинейно зависит от фильтрации (рисунок 2).

При решении задачи контроля параметров рентгеновских аппаратов неизвестными являются и анодное напряжение и суммарная фильтрация пучка. Очевидно, что в этом случае калибровочная характеристика может быть представлена поверхностью, отражающей зависимость КПР от двух параметров одновременно.

Согласно рисункам 1 и 2 приращению КПР с увеличением анодного напряжения уменьшаются, а, следовательно, снижается чувствительность метода и растет погрешность. При заданном материале фантома диапазон измерения анодных напряжений ограничен. Последнее легко объяснить превалированием некогерентного рассеяния при росте энергий квантов. Так для фторопласта на энергиях выше 30 кэВ некогерентное рас-

сеяние становится основным фактором ослабления пучка (рисунок 3). В диапазоне выше 60 кэВ сечение рассеяния практически перестает зависеть от энергии, что и обуславливает выход калибровочной характеристики на горизонтальный участок.

Можно отметить, что отношение сигналов детекторов D1 и D2, находящихся в полях ослабленного (D1) и рассеянного (D2) излучений, определяется не только различной интенсивностью, но и разным спектральным составом воздействующих излучений. Спектр рассеянного излучения смещен в максимуме в сторону меньших энергий относительно спектра ослабленного излучения, что обуславливается физикой процесса некогерентного рассеяния. Спектры пучков ослабленного и рассеянного излучений для анодных напряжений 80 и 100 кВ, рассчитанные по числу квантов, представлены на рисунке 4.

Увеличение суммарной фильтрации пучка при заданном анодном напряжении приводит к смещению максимума спектрального распределения в сторону больших энергий и одновременному срезанию спектра слева, со стороны меньших энергий. В результате неоднородность пучка по энергии уменьшается, а его проникающая способность (жесткость) увеличивается. Если характеризовать рентгеновский пучок

после фильтра эффективной энергией, то, сделав ряд допущений, можно показать, что отношение сигналов детекторов D2 к D1 пропорционально эффективному массовому коэффициенту ослабления пучка в материале фантома.

Действительно, $KPP = \frac{D2}{D1} = k \frac{N_2}{N_1}$, где N_1 – число квантов, прошедших фантом; N_2 – число квантов, рассеянных в фантоме; k – коэффициент пропорциональности, учитывающий геометрию системы и частичное поглощение рассеянных фотонов в материале фантома. Если количество квантов до фильтра N_0 , то после фильтра в пучке останется N квантов, определяемое как $N = N_0 \exp(-\mu \cdot \rho \cdot t)$, где μ – массовый коэффициент ослабления; ρ – плотность материала фильтра; t – толщина фильтра. Тогда $N_1 = N \exp(-\mu_f \rho_f t_f)$, $N_2 = N(1 - \exp(-\sigma_f \rho_f t_f))$, где μ_f – массовый коэффициент ослабления материала фантома; ρ_f – плотность материала фантома; t_f – толщина фантома в направлении просвечивания; σ_f – сечение рассеяния материала фантома. В итоге отношение

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{1 - \exp(-\sigma_f \rho_f t_f)}{\exp(-\mu_f \rho_f t_f)}$$

не зависит от толщины

дополнительного фильтра и определяется отношением вероятностей рассеяния и пропускания квантов. Для пучков с эффективной энер-

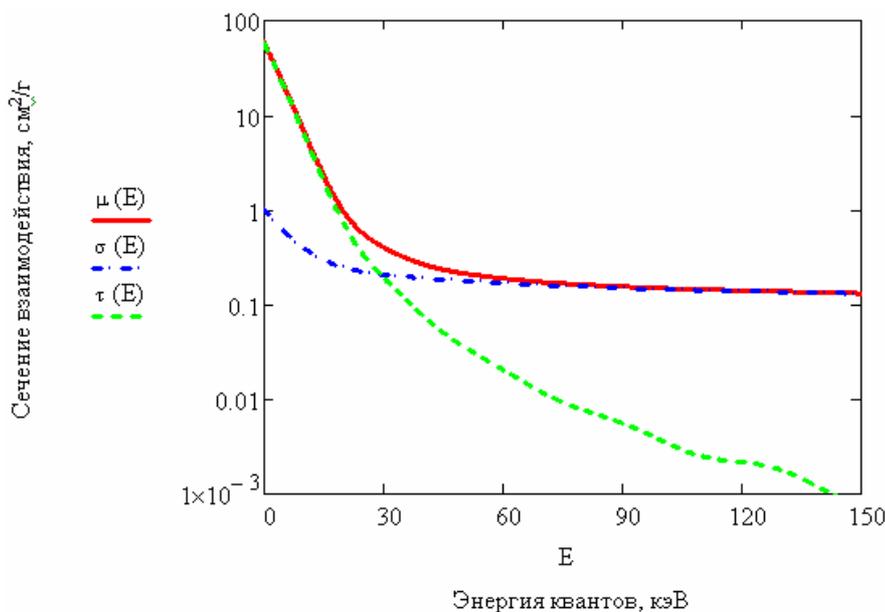


Рисунок 3. Зависимости сечений взаимодействия от энергии квантов рентгеновского излучения для фторопласта, $\mu(E)$ – массовый коэффициент ослабления; $\sigma(E)$ – сечение рассеяния; $\tau(E)$ – сечение фотоэффекта.

гией выше 30кэВ можно положить, что $\sigma_f \approx \mu_f$

и записать: $\frac{N_2}{N_1} \approx \mu_f \rho_f t_f$. Таким образом, для монохроматических пучков КПР не зависит от толщины дополнительного фильтра. Однако в случае тормозного излучения фильтрация меняет эффективную энергию пучка и зависимость КПР повторяет ход с жесткостью эффективно-го массового коэффициента ослабления.

Исследование влияния форм фактора на результаты измерений показало, что уменьшение высоты фантома h при неизменном радиусе R приводит к уменьшению КПР и снижению чувствительности системы (рисунок 5).

При фиксированной высоте фантома чувствительность системы растет при уменьшении радиуса фантома (рисунок 6).

Соотношение $\frac{h}{R} = \frac{4}{1}$ использовалось при построении реальной измерительной системы с фторопластовым фантомом цилиндрической формы.

Полученные экспериментальные зависимости КПР от анодного напряжения и суммарной фильтрации излучения представлены на рисунке 7. Установлено, что на результаты измерений помимо анодного напряжения, фильтрации и формы фантома оказывает также влияние

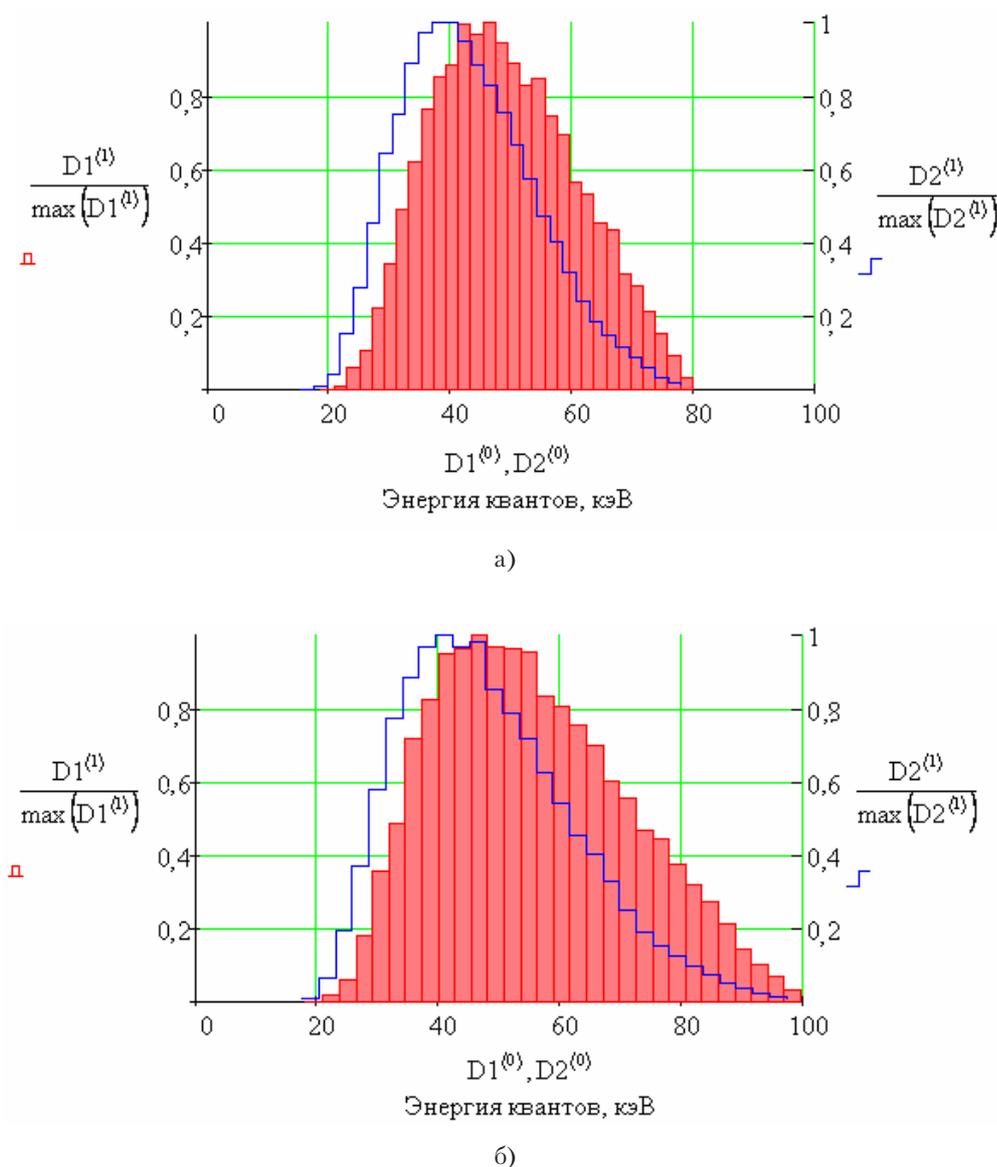


Рисунок 4. Приведенные спектры пучков, воздействующих на детекторы D1 и D2 при измерении КПР. Расчет выполнен для анодных напряжений 80 кВ (а) и 100 кВ (б) при суммарной фильтрации 0,3 см алюминия

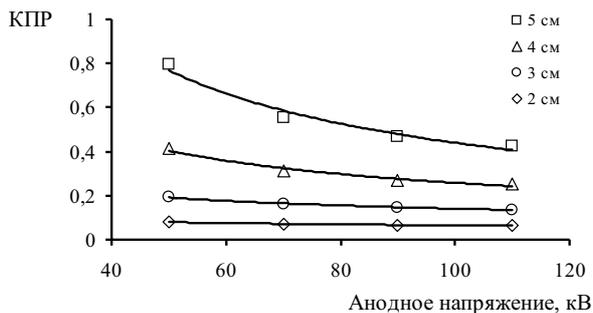


Рисунок 5. Расчетные зависимости коэффициента приведенного рассеяния от анодного напряжения при разной высоте фторопластового фантома (суммарная фильтрация 0,4 см алюминия, радиус фантома 1 см)

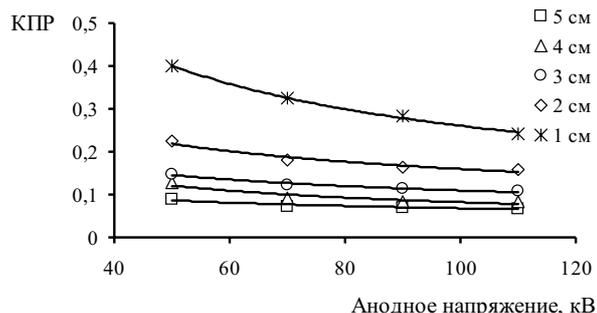
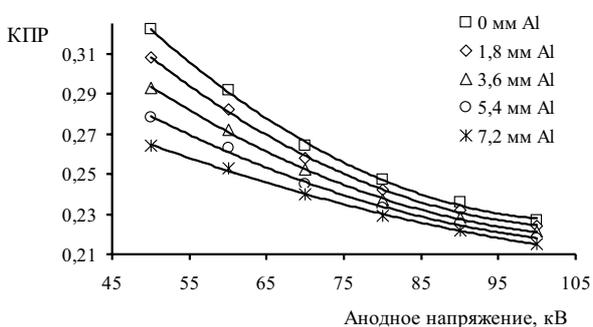
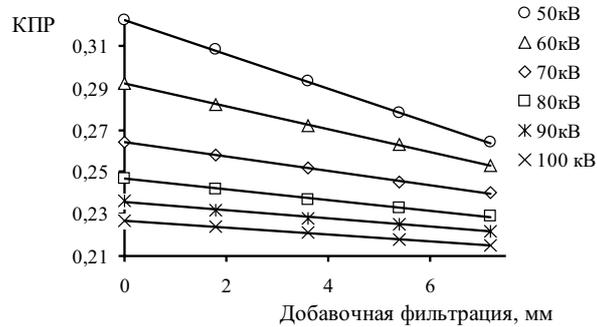


Рисунок 6. Расчетные зависимости коэффициента приведенного рассеяния от анодного напряжения при разной радиусе фторопластового фантома (суммарная фильтрация 0,4 см алюминия, высота фантома 4 см)



а)



б)

Рисунок 7. Экспериментальные зависимости коэффициента приведенного рассеяния от анодного напряжения (а) и добавочной фильтрации (б) (фокусное расстояние 80 см, собственная фильтрация – 0,22 см алюминия)

расстояние между фокусом рентгеновской трубки и входным окном измерительной ячейки.

Таким образом, результаты моделирования показали, что применение КПР в качестве критерия определения напряжения на аноде рентгеновской трубки по генерируемому излучению обеспечивает максимальную чувствительность в диапазоне напряжений от 50 до 100 кВ при использовании фторопластового об-

разца цилиндрической формы с размерами

$\frac{h}{R} = \frac{4}{l}$. Результаты эксперимента подтвердили результаты теоретического исследования.

Методика определения анодного напряжения по величине коэффициента приведенного рассеяния может найти применение при создании систем самотестирования рентгеновских диагностических аппаратов.

7.07.2013

Список литературы:

1. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований: 2.6.1.1192-03. – М.: ФЦГСЭН, 2003. – 76с.
2. Муслимов Д.А., Лелюхин А.С. Методы и средства измерения анодного напряжения рентгеновских аппаратов // Медицинская техника. – 2011. – №5. – С. 15-18.
3. Муслимов Д., Лелюхин А. Практическое пиковое напряжение. Методы и средства измерения. – Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 160 с.
4. Гамалей К.А., Муслимов Д.А., Скрынников И.Ю., Лелюхин А.С. Определение напряжения генерирования рентгеновского излучения по отношению интенсивностей прямого и рассеянного пучков // V Троицкая конференция «Медицинская физика и инновации в медицине» (ТКМФ-5). Сб. материалов. Том 1. – Троицк, 2012. – С. 411 – 413.
5. Аджиева М.Д., Кувшинов Н.А., Лелюхин А.С., Каньгина О.Н. Оценка пористости материалов по величине коэффициента приведенного рассеяния // Вестник ОГУ. – 2012. – №9 (145). – С. 118-122.
6. Карягин М.А., Муслимов Д.А., Лелюхин А.С. «Модуль расчета коэффициента приведенного рассеяния для модели радиационного киловольтметра». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012618284 от 12.09.2012. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Россия.

Сведения об авторах

Карягин Максим Александрович, преподаватель кафедры проектирования и технологии радиоэлектронных средств Физического факультета Оренбургского государственного университета 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел.: (3532) 372556, e-mail: maxtherion@yandex.ru

Лелюхин Александр Сергеевич, доцент кафедры проектирования и технологии радиоэлектронных средств Физического факультета Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент, e-mail: alex-ray@inbox.ru 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел.: (3532) 372556

UDC 615.471.03:616-073.75

Karyagin M.A., Lelyukhin A.S.

Orenburg state university, e-mail: maxtherion@yandex.ru; alex-ray@inbox.ru

THE MEASURED VOLTAGE ON X-RAY TUBE USING ITS RADIATION

The procedure for measuring the high voltage X-ray emitters considered. The reduced scattering coefficient is used as a criterion. The results of simulation of influence of the excitation conditions of radiation are given. It is shown that the simulation results are in qualitative agreement with experimental data.

Key words: radiation kilovoltmeter, the reduced scattering coefficient, anode voltage, x-ray devices.

Bibliography:

1. Hygiene requirements for the construction and operation of X-ray rooms, vehicles and conducting radiological studies: 2.6.1.1192-03. – Moscow: FTSGSEN, 2003. – 76с.
2. Muslimov D. A., Lelyukhin A. S. Methods and Devices for Anode Voltage Measurement in X-Ray Apparatuses // Biomedical Engineering, Vol. 45, No. 5, January, 2012, pp. 189_193.
3. Muslumov D.A., Lelyukhin A.S. Practical Peak Voltage. Methods and Devices of Measurements. – Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 160 с.
4. Gamaley K.A., Muslumov D.A., Skrynnikov I.Y., Definition of voltage generating X-rays from the intensity of the direct and scattered beams // V Troickaya Conference «Medical Physics and Innovation in Medicine» (TKMF-5). Sat materials. Volume 1. – Troitsk, 2012. – S. 411 – 413.
5. Adzhieva M.D., Kuvshinov N.A., Lelyukhin A.S., Kanygina O.N. Assessment of porosity materials reduced scattering coefficient value // Vestnik OSU. – 2012. – №9 (145). – S. 118-122.
6. Karyagin M.A., Muslumov D.A., Lelyukhin A.S. «Module calculate the reduction scattering coefficient for the model of radiation kilovoltmeter.» Certificate of state registration of the computer number 2012618284 from 12.09.2012. The Federal Service for Intellectual Property, Patents and Trademarks. Russia.