

УДК 62. 53.2

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ МОЩНОСТИ АМБИЕНТНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ РЕНТГЕНОВСКОГО И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Савина Виктория Алексеевна студент направления подготовки 27.03.01 «*Стандартизация и метрология*»

e-mail: vikasavin02@mail.ru

Третьяк Людмила Николаевна д.т.н., доцент, заведующий кафедрой метрологии, стандартизации и сертификации, академик РАЕ,

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»

e-mail: tretyak_ln@mail.ru

Аннотация. Обоснована актуальность оценки неопределённости измерений мощности амбиентного эквивалента дозы рентгеновского и гамма-излучения в области обеспечения радиационной безопасности операторов, применяющих рентгеновские аппараты в медицине для специальной оценки условий труда (СОУТ). Подчеркнута значимость определения достоверности количественной оценки мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) рентгеновского излучения актуальна в областях, использующих источники рентгеновского излучения. Представлены сведения о методике измерения параметров ионизирующих излучений для целей СОУТ. Приведены результаты анализа основных источников неопределенности при измерении (МАЭД) рентгеновского и гамма-излучения, представлена их краткая характеристика. В соответствии с требованиями инструментов управления качеством выявлены основные пять причин появления неопределенностей: измерительные приборы (средства измерений) как источник инструментальной неопределенности; испытательное и вспомогательное оборудование; методы измерения параметров ионизирующих излучений; ошибки оператора (источник субъективной погрешности) и факторы окружающей среды. Полученные результаты анализа факторов могут быть использованы для построения диаграммы Исикавы и последующего системного анализа выявления причин возникновения неопределенности измерений. Обозначены перспективы дальнейшего изучения и систематизации влияния основных параметров неопределенности: полнота описания измеряемой величины, разрешающая способность дозиметров, достоверность моделирования МАЭД, влияющей на параметры биологических объектов.

Ключевые слова: погрешность измерений, неопределенность, источники неопределенности мощности амбиентного эквивалента дозы, оценка неопределенности, специальная оценка условий труда.

ON THE QUESTION OF THE NECESSITY TO ASSESS THE UNCERTAINTY OF MEASUREMENTS OF THE AMBIENT DOSE RATE EQUIVALENT OF X-RAY AND GAMMA RADIATION

Savina Victoria Alekseevna student of the direction of training 03.27.01 «*Standardization and metrology*»

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg State University»

e-mail: vikasavin02@mail.ru

Scientific supervisor: **Lyudmila Nikolaevna Tretyak** – Academician of the Russian Academy of

Economics, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Metrology, Standardization and Certification
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg State University»
e-mail: tretyak_in@mail.ru

Annotation. The relevance of assessing the uncertainty in measuring the ambient dose equivalent rate of X-ray and gamma radiation in the field of ensuring the radiation safety of operators using X-ray machines in medicine for the special assessment of working conditions (SOUT) is substantiated. The importance of determining the reliability of quantitative assessment of the ambient dose equivalent rate (ADR) of X-ray radiation is emphasized; it is relevant in areas using X-ray radiation sources. Information is presented on the methodology for measuring the parameters of ionizing radiation for the purposes of SOUT. The results of the analysis of the main sources of measurement uncertainty (DER) of X-ray and gamma radiation are presented, and their brief characteristics are presented. In accordance with the requirements of quality management tools, the main five causes of uncertainty have been identified: measuring instruments (measuring instruments) as a source of instrumental uncertainty; testing and auxiliary equipment; methods for measuring parameters of ionizing radiation; operator errors (a source of subjective error) and environmental factors. The obtained results of factor analysis can be used to construct an Ishikawa diagram and subsequent system analysis to identify the causes of measurement uncertainty. The prospects for further study and systematization of the influence of the main parameters of uncertainty are outlined: the completeness of the description of the measured quantity, the resolution of dosimeters, and the reliability of DER modeling that affects the parameters of biological objects.

Keywords: measurement error, uncertainty, sources of uncertainty in the ambient dose equivalent rate, uncertainty assessment, and special assessment of working conditions.

Введение

Не подлежит сомнению, что безопасность персонала является одним из главных приоритетов, в том числе и при измерительных процедурах. Поэтому оценку неопределенности измерений при измерении мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) рентгеновского и гамма-излучения, возникающих от различных источников, следует рассматривать как актуальную в области обеспечения радиационной безопасности, поскольку количественное значение неопределенности позволяет определить не только степень достоверности результатов измерений и выявить возможные источники появления погрешностей (неопределенностей). Величина неопределённости, в свою очередь, помогает разработать меры по обеспечению безопасности персонала и окружающей среды от названных источников излучения. Кроме этого, количественная оценка неопределенности направлена на повышение качества выполняемых измерений.

При оценке неопределенности необходимо строго придерживаться стандартизированной терминологии. Основным терминологическим стандартом в области неопределенности измерений принят ГОСТ 34100.3-2017/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 Неопределенность измерения. Согласно этого межгосударственного стандарта (гл. 2, п. 2.3) «**неопределенность (измерений)** – неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании измерительной информации» [1, С. 2].

Например, в [2] подчеркнуто, что «неопределенность измерений – параметр, связанный с оценкой истинного значения измеряемой величины. Неопределенность измерений – параметр, характеризующий точность и достоверность измерений. В отличие от погрешности, неопределенность является более сложным, «комплексным» понятием и применяется для

более точной оценки истинного значения».

Цель исследования: обосновать необходимость оценки неопределённости измерений (МАЭД) рентгеновского и гамма-излучения; выявить основные источники неопределенности при измерении этой величины и определить перспективы повышения качества (в том числе достоверности) измерений.

Материал и методы исследования: Основным методом исследования принят системный анализ сбора и обработки информации. При анализе проблемы был также применен метод структурирования данных. Основной материал, изложенный в статье, базируется на анализе нормативно-законодательных документов и других доступных источников информации.

На международном уровне (публикации Международной Комиссии по радиационной защите) [3] МАЭД рентгеновского излучения позиционируется как «величина, характеризующая мощность дозы излучения в определенной точке пространства. Она показывает, какую дозу излучения получит человек, если будет находиться в данной точке в течение определенного времени». Принятый в международных организациях подход к оценке МАЭД подчеркивает значимость определения достоверности её оценки. Поэтому количественная оценка мощности амбиентного эквивалента дозы рентгеновского излучения актуальна в областях, где используются источники рентгеновского излучения, например, в медицине, промышленности, научных исследованиях.

Результаты исследования и их обсуждение

Как известно, использование рентгеновских аппаратов в медицине может сопровождаться отрицательным воздействием на персонал первичного и вторичного (рассеянного) излучения. Рентгеновские аппараты могут быть источниками ионизирующего излучения – это вид энергии, высвобождаемой атомами в форме электромагнитных волн (гамма- и рентгеновское излучение) или частиц (нейтроны, бета- и альфа-частицы), которые могут нанести вред здоровью человека. Первичное излучение исходит непосредственно от источника рентгеновских лучей, а вторичное образуется при взаимодействии первичного излучения с окружающими предметами. Поэтому, как справедливо подчеркнуто «...обеспечение гигиены труда медицинских работников требует при работе с рентгеновскими аппаратами соблюдать меры безопасности, такие как использование защитных экранов и проведение регулярного контроля уровня радиации» [4].

Для контроля и обеспечения радиационной безопасности на предприятиях, в медицинских учреждениях и других объектах, где присутствуют источники ионизирующего излучения, чаще других, как измерители ионизирующих излучений, применяют дозиметры рентгеновского и гамма-излучения следующих типов: ДКС-АТ1121, ДКС-АТ1121А, ДКС-

АТ1123, ДКС-АТ1123А (рисунок 1). Согласно Руководства по эксплуатации «Дозиметры рентгеновского и гамма-излучения» предназначены для измерения дозы и мощности амбиентного эквивалента дозы непрерывного, кратковременно действующего и импульсного рентгеновского и гамма-излучения, а также для поиска и обнаружения источников рентгеновского, гамма- и жесткого (с максимальной энергией спектра более 500 кэВ) бета-излучения. Перечисленные выше средства измерительной техники относятся к широкодиапазонным приборам, применяемым спецслужбами. Свойство универсальности этих СИ в применении подтверждается вариабельностью диапазонов энергий регистрируемого рентгеновского и гамма-излучения (таблица 1):

Таблица 1 – Диапазон энергий регистрируемого рентгеновского и гамма-излучения

Тип дозиметров	Пределы измерений
ДКС-АТ1121, ДКС-АТ1123	от 15 кэВ до 10 МэВ
ДКС-АТ1121А, ДКС-АТ1123А	от 20 кэВ до 10 МэВ

В частности, к особенностям ДКС-АТ1121 относят «автоматическое запоминание максимального текущего значения мощности дозы; измерение мощности дозы в импульсе; возможность установки пороговых уровней по дозе и мощности дозы; звуковую и визуальную индикацию превышения порогового уровня; запись и хранение в памяти дозиметра результатов измерений; возможность дистанционных измерений с помощью выносного пульта и стационарного размещения и использования в качестве дозиметра сигнализатора с дистанционным управлением» (информация взята с сайта <https://www.t-ss.ru/dozimetry-rentgenovskogo-i-gamma-izlucheniya-atomteh-dks-at1121/> и из паспорта СИ).



Рисунок 1 – Дозиметр рентгеновского и гамма-излучения типа ДКС-АТ1121

Кроме измерительного оборудования при измерении МАЭД рентгеновского и гамма-излучения применяется испытательное и вспомогательное оборудование. Такое оборудование имеет огромную практическую ценность в области медицины. В частности, для исследования степени воздействия радиационного излучения на тело человека используются специальные приборы – тканеэквивалентные фантомы.

С помощью фантомов, как отмечено в [5], «можно получить точные данные о том, как влияет на человека радиационный фон диагностического или лечебного оборудования. Тканеэквивалентные фантомы позволяют получить ценную информацию о степени опасного воздействия радиации на человеческий организм, не прибегая к опытам с участием людей».

Водная среда – идеальное средство моделирования человеческого тела, поскольку она обладает высокой проницаемостью, что облегчает измерение на разных уровнях проникновения радиации. Помимо воды, для имитации тканей тела используются и другие материалы, например, акрил (полиметилметакрилат, ПММА). Измеряя уровень излучения в воде, можно прогнозировать степень радиационного облучения человека медицинским прибором.

Высокая проницаемость воды позволяет легко проводить измерения на различных глубинах проникновения излучения (информация взята с сайта https://acrylmedic.ru/post/show/15/fantomy_dlya_dozimetrii_v_radiologii?ysclid=lqwl8wisbo952188933).

Согласно Методике измерения параметров ионизирующих излучений для целей специальной оценки условий труда «МИ ИИ.ИНТ-14.01-2018» (гл. 3. п. 1.11) «эквивалент дозы амбиентный (амбиентная доза) $H(d)$ – эквивалент дозы, который был создан в шаровом фантоме МКРЕ на глубине d (мм) от поверхности по диаметру, параллельному направлению излучения, в поле излучения, идентичном рассматриваемому по составу, флюенсу и энергетическому распределению, но мононаправленному и однородному». В анализируемой Методике МИ ИИ.ИНТ-14.01-2018 эквивалент амбиентной дозы рекомендуется использовать «для характеристики поля излучения в точке, совпадающей с центром шарового фантома», результаты оценки должны выражаться в «мк³в/ч».

Оценка неопределенности измерений мощности амбиентного эквивалента дозы рентгеновского и гамма-излучения является важным этапом при проведении дозиметрического контроля. Неопределенность измерений позволяет оценить степень достоверности и точности полученных данных, а также выявить возможные источники погрешностей и предпринять меры по их устранению.

Анализ доступной информации [2, 3, 5] позволил нам выявить основные источники неопределенности при измерении МАЭД. Ниже приводится перечень и краткая

характеристика этих источников неопределенности.

1. Измерительные приборы (средства измерений – СИ) как источник инструментальной неопределенности. Неопределенность в этом случае может быть связана с их техническими характеристиками, влияющими на метрологические свойства, а также с износом отдельных конструктивных элементов, которые при эксплуатации подвергаются длительному контакту. На метрологические свойства СИ оказывают влияние также периодичность их калибровки (юстировки).

Для измерения ионизирующего излучения должны применяться СИ утвержденного типа, прошедшие испытания, внесенные в государственный реестр СИ и имеющие свидетельство о периодической поверке. Пределы измерений СИ, используемых для проведения измерений МАЭД в рамках специальной оценки условий труда (СОУТ), должны соответствовать значениям, представленным в МИ ИИ.ИНТ-14.01-2018 (п.5.1).

2. Испытательное и вспомогательное оборудование.

Разработка и применение экспериментальных фантомов в ядерной медицине связаны, прежде всего, с необходимостью контроля и поддержания требуемого уровня качества получаемой диагностической информации в процессе эксплуатации оборудования. В данном случае под фантомом понимается физический объект, состоящий из конструктивных элементов с заданными физическими характеристиками, позволяющими моделировать определенные свойства или параметры биологических объектов. Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) и однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ-сканеры) используются при проведении технических испытаний в рамках программы обеспечения контроля качества (Quality Assurance), включающей в себя как периодический технический контроль, проводимый специализированными организациями, так и контроль постоянства параметров, осуществляемый квалифицированными сотрудниками медицинских организаций с использованием специально разработанных фантомов либо рекомендованными государственными образцами [4].

3 Методы измерения параметров ионизирующих излучений

Ограничения (несовершенство) методов измерения и их способность точно измерять МАЭД: каждый метод измерения МАЭД имеет свои ограничения, которые могут влиять на точность результатов. Например, некоторые методы могут быть более чувствительными к определенным видам радиации, чем другие, что может привести к неточности при измерении других видов радиации. Также, каждый метод имеет свою собственную погрешность, которая также влияет на точность измерения. Ограничения методов измерения МАЭД также включают в себя их способность измерять эту величину в различных условиях. Некоторые методы могут быть менее точными в условиях высокой радиации, другие – в условиях низкой радиации.

Также некоторые методы могут давать более точные результаты при измерении МАЭД на малых расстояниях, другие – на больших. Кроме того, некоторые методы могут быть более точными при измерении МАЭД в течение коротких периодов времени, другие – в течение длительных периодов.

4. Субъективный фактор как источник неопределенности измерений (ошибок оператора). Следует учитывать, что ошибки, допущенные оператором при проведении измерений или обработке результатов, также могут привести к увеличению погрешности (неопределенности) результатов измерений.

В соответствии с требованиями (МИ ИИ.ИНТ-14.01-2018) к проведению измерений допускаются лица: соответствующие требованиям, предъявляемым к лицам, непосредственно выполняющим работы по проведению измерений в соответствии с областью аккредитации; изучившие руководство по эксплуатации используемых СИ; прошедшие специальную подготовку, имеющие знания и навыки работы со СИ; прошедшие инструктажи по радиационной безопасности, охране труда при работе с электроизмерительными приборами и электроустановками; не имеющие медицинских противопоказаний и допущенные к работам с источниками ионизирующих излучений; прошедшие специальное обучение по охране труда.

5. Влияние окружающей среды. Различные факторы, такие как температура, влажность, атмосферное давление и другие, могут влиять на показания измерительного прибора. Температура, относительная влажность, атмосферное давление должны находиться в диапазонах применяемых СИ (указываются в руководствах по эксплуатации на них). При работе в среде, содержащей пыль, или во время атмосферных осадков дозиметр, как рекомендуется в Методике измерения ИИ.ИНТ-14.01-2018, следует помещать в полиэтиленовый пакет. Кроме этого, рекомендуется не проводить измерения непосредственно после резкого изменения условий, в которых находятся применяемые СИ. Например, после перемещения СИ из холодного помещения в теплое. В подобных случаях использовать СИ следует не раньше, чем через 30 минут после изменения этих условий.

Радиационные помехи от других источников радиации (оборудования) такие как гамма-лучи, рентгеновские лучи, бета-частицы и альфа-частицы или же электромагнитных полей, также могут влиять на показания измерительного прибора. Для оценки неопределенности измерений необходимо провести ряд испытаний, оценить их возможные источники, а затем использовать статистические методы для обработки полученных данных и расчета неопределенности измерений.

Выводы

Оценка неопределенности измерений МАЭД рентгеновского и гамма-излучения играет важную роль в обеспечении радиационной безопасности. Она позволяет определить

достоверность результатов измерений, выявить возможные погрешности и разработать меры по безопасности персонала и окружающей среды. Количественная оценка неопределенности также способствует повышению качества измерений и улучшению работы в области радиационной безопасности.

Анализ информации позволил систематизировать основные источники неопределенности при измерении МАЭД: измерительные приборы как источник инструментальной неопределенности; испытательное и вспомогательное оборудование; методы измерения параметров ионизирующих излучений; ошибки оператора как субъективный фактор; факторы окружающей среды.

Требуют дальнейшего изучения и систематизации вопросы влияния на неопределенность измерений полноты описания измеряемой величины, сведения о разрешающей способности дозиметров, а также достоверности моделирования МАЭД, влияющей на параметры биологических объектов. Результаты планируется представить в виде систематической диаграммы.

Список литературы

1 ГОСТ 34100.3-2017 Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 Неопределенность измерения. М.: Стандартиформ, 2018. 112 с.

2 Третьяк Л.Н., Воробьев А.Л. Погрешность и неопределенность измерений: Требования к нормированию и определению характеристик // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 7. – С. 188-190.

3 Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Пер. с англ. / под общей ред. М.Ф. Киселёва и Н.К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009 – 344 с.

4 Лемешевская, Е. П. Гигиена труда медицинских работников: учебное пособие для студентов / Е. П. Лемешевская, Г. В. Куренкова, Е. В. Жукова; ФГБОУ ВО ИГМУ Минздрава России, кафедра гигиены труда и гигиены питания. – Иркутск: ИГМУ, 2018 – 86 с.

5 Румянцев П.О., Трухин А.А., Сергунова К.А. и др. Фантомы в ядерной медицине // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2020 Том 65 № 2, С. 62–67.

6 Кудяров Ю.А. Применение концепции неопределенностей при обработке результатов измерений. Учебное пособие. – М.: АСМС, 2016. – 72 с.