

Отзыв официального оппонента

советника отдела технического регулирования, стандартизации и
метрологического обеспечения Департамента развития научно-
производственной базы ядерного оружейного комплекса

Госкорпорации «Росатом»

доктора технических наук

ВАСИЛЬЕВА Игоря Олеговича

на диссертационную работу ФЕДОРОВА Сергея Григорьевича,
выполненную на тему: «Разработка методов и средств повышения точности,
расширения энергетических и измерительных диапазонов при
воспроизведении и передаче единиц мощности поглощенной дозы,
мощностей амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы нейтронного
излучения» и представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности

2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение»

Актуальность исследований

Диссертационная работа Федорова С.Г. посвящена решению научной задачи обоснования, разработки и исследования методов и средств воспроизведения и передачи единиц мощности поглощенной дозы, мощностей амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы нейтронного излучения для обеспечения единства измерений в области дозиметрии нейтронного излучения.

В настоящее время активно расширяется область применения нейтронного излучения и разрабатываются новые типы ядерно-физических установок в области атомной промышленности и энергетики, а также строятся и вводятся в эксплуатацию центры нейтронной лучевой терапии в области здравоохранения, обновляются и уточняются библиотеки баз данных микроскопических сечений взаимодействия нейтрона с веществом, появляются новые методы анализа расчетных данных.



При этом рядом отечественных и международных нормативных и методических документов предъявляются повышенные требования к динамическому и энергетическому диапазонам измерений дозиметрических величин нейтронного излучения, а также к ужесточению точностных характеристик средств измерений указанных величин, в том числе для обеспечения условий радиационной безопасности.

В области дозиметрии нейтронного излучения для обеспечения единства измерений применяется Государственный первичный эталон единиц поглощенной дозы, мощности поглощенной дозы, амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы, мощностей амбиентного и индивидуального эквивалентов нейтронного излучения ГЭТ 117-2023, к которому в Российской Федерации прослеживаются результаты измерений данных величин.

Учитывая указанные требования, соискатель обосновывает необходимость проведения исследований, направленных на:

- обеспечение прослеживаемости результатов измерений, полученных высокоточными средствами измерений единицы мощности поглощенной дозы нейтронного излучения (клинических дозиметров) к ГЭТ 117-2023, с относительной расширенной неопределенностью измерений ($k=2$), которая не должна превышать 3 %;

- расширение верхнего значения границы диапазона воспроизведения единицы мощности поглощенной дозы нейтронного излучения с $1 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^{-3}$ Гр·с⁻¹;

- разработку методов и средств передачи единицы мощности поглощенной дозы нейтронного излучения средствам измерений, применяемым на ядерно-физических установках в нейтронной лучевой терапии;

- расширение верхней значение границы диапазона энергий, в котором воспроизводятся и передаются единицы мощностей амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы нейтронного излучения с 10 до 20 МэВ

для обеспечения радиационного и индивидуального дозиметрического контроля при работе на высокоэнергетических установках.

Сказанное выше позволяет сделать вывод, что диссертационная работа Федорова С.Г., посвященная обеспечению единства измерений дозиметрических величин нейтронного излучения путем улучшения метрологических характеристик Государственного первичного эталона единиц мощности поглощенной дозы и мощности эквивалента дозы нейтронного излучения ГЭТ 117-2010, является актуальной.

Научная значимость работы

Основные теоретические и прикладные результаты работы свидетельствуют о достижении соискателем поставленной цели. На защиту выносятся следующие, обладающие научной новизной результаты.

1) Разработанный аппаратурно-методический комплекс на основе новой конструкции ионизационных камер позволяет расширить верхнее значение границы диапазона воспроизведения единицы мощности поглощенной дозы нейтронного излучения с $1 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^{-3}$ Гр·с⁻¹, а также уменьшить относительную расширенную неопределенность измерений U при $k = 2$ во всем диапазоне воспроизведения с 4,4 % до 2,7 %.

2) Разработанный метод и средства измерений на основе многоканального блока регистрации позволяют осуществить передачу единицы мощности поглощенной дозы нейтронного излучения на ядерно-физические установки в нейтронной лучевой терапии, с относительной расширенной неопределенностью измерений U , не превышающей 2,9 % при $k = 2$.

3) Разработанный аппаратурно-методический комплекс для воспроизведения и передачи единиц мощностей амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы нейтронного излучения, позволяющий осуществлять расчет данных единиц величин на основе измерений энергетического спектра нейтронов в диапазоне энергий от $1 \cdot 10^{-3}$ до 20 МэВ за

счет расширенного набора детекторов и увеличения числа энергетических групп с 47 до 227 с относительной расширенной неопределенностью измерений U , не превышающей 6,8 % при $k = 2$.

Практическая значимость работы

Диссертационную работу отличает сочетание научного подхода к решению задач исследований и их практическая направленность. Основу прикладных разработок автора составляют аппаратно-методические комплексы, методы и средства измерений, внедрение которых в состав Государственного первичного эталона единиц поглощенной дозы, мощности поглощенной дозы, амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы, мощностей амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы нейтронного излучения ГЭТ 117-2023 позволило улучшить его метрологические характеристики.

Полученные в работе результаты позволили обеспечить единство измерений в области клинической дозиметрии нейтронного излучения, а также проводить испытания, поверку и калибровку новых высокоточных средств измерений.

Разработанные методы и средства воспроизведения и передачи единиц мощностей амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы нейтронного излучения позволили осуществлять измерения энергетического спектра нейтронов в гамма-нейтронных полях, применяемых на практике.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, рекомендаций и выводов

Обоснованность научных положений, рекомендаций и выводов определяется использованием в диссертационной работе общепринятых и известных подходов и расчетных соотношений из теории измерений, методов восстановления энергетического спектра нейтронов.

Достоверность научных положений, рекомендаций и выводов подтверждается согласованностью полученных результатов с результатами других исследований в рассматриваемой предметной области, корректностью применения избранных методов исследования, тщательностью подготовки исходных данных для решения частных задач, наличием значительного числа экспериментальных исследований, а также признанием основных положений диссертации широким кругом специалистов при апробации на научных конференциях.

Все экспериментальные и теоретические результаты, представленные в настоящей работе, получены автором лично, либо при решающем его участии.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 120 наименований и 8 приложений. Полный объём диссертации составляет 168 страниц, включая 58 рисунков и 20 таблиц.

Результаты, полученные в ходе исследования достаточно полно представлены в 21 статье, в том числе в 8 статьях в изданиях из Перечня ВАК российских рецензируемых изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертационной работы, и в 40 докладах на всероссийских и международных научно-технических конференциях.

Получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и патент РФ № 2853692 от 25.12.2025 г. на изобретение «Блок регистрации нейтронного и гамма-излучений, основанный на сцинтилляционном методе регистрации».

Основные результаты работы реализованы:

- актом государственных испытаний прошедшего совершенствование Государственного первичного эталона единиц мощности поглощенной дозы и мощности эквивалента дозы нейтронного излучения (ГЭТ 117-2010);

- Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 марта 2023 г. № 602 «Об утверждении Государственного первичного эталона единиц поглощенной дозы, мощности поглощенной дозы,

амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы, мощностей ambiентного и индивидуального эквивалентов дозы нейтронного излучения»;

- Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 июля 2023 г. № 1490 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений поглощенной дозы, мощности поглощенной дозы, ambiентного и индивидуального эквивалентов дозы, мощностей ambiентного и индивидуального эквивалентов дозы нейтронного излучения»;

- актами внедрения от организаций: ООО «НПП «Доза», ФБУ «Мурманский ЦСМ», ФБУ «Самарский ЦСМ», ФБУ «НИЦ ПМ - Ростест».

К содержанию работы могут быть сделаны следующие **замечания**:

1. При обосновании актуальности темы исследований автору желательно было бы подробнее раскрыть требования отечественных и международных нормативных и методических документов к динамическому и энергетическому диапазонам измерений дозиметрических величин нейтронного излучения, а также к ужесточению точностных характеристик средств измерений указанных величин, в том числе для обеспечения условий радиационной безопасности.

2. По тексту диссертации соискатель употребляет словосочетание «обеспечение единства и требуемой точности измерений» (например, стр. 9, 129). При этом в Федеральном законе № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» применяется понятие «единство измерений - состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы».

3. Так же, несмотря на то, что одну из частных задач исследований автор сформулировал как «разработать и исследовать методы и средства передачи единицы мощности поглощенной дозы нейтронного излучения средствам измерений, применяемым на ядерно-физических установках», по

тексту диссертации по отношению к передаче единицы величины применяются словосочетания:

- «в смешанные гамма-нейтронные поля» (стр. 12);
- «на ядерно-физические установки» (стр. 66, 72, 73, 77);
- «во все типоразмеры коллимированных полей» (стр. 66).

4. В главе 4 на рисунках 4.31 – 4.34 подписи вертикальных осей приведены в виде обозначений, которые не введены по тексту диссертации, хотя пояснения к ним по тексту даны.

5. В тексте диссертации и автореферата присутствуют опечатки, особенно в окончаниях слов, и некоторые разночтения, затрудняющие однозначное восприятие изложенного материала.

Указанные замечания не снижают общей научной и практической ценности работы и значимости ее результатов, не затрагивают основные положения диссертационной работы, а также общую положительную оценку диссертации.

Заключение

Диссертация Федорова Сергея Григорьевича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой поставлена и решена актуальная научно-практическая задача обоснования, разработки и исследования методов и средств воспроизведения и передачи единиц мощности поглощенной дозы, мощностей амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы нейтронного излучения для обеспечения единства измерений в области дозиметрии нейтронного излучения.

Результаты диссертации обладают научной новизной, практической значимостью, прошли апробацию, в достаточной степени представлены в научных трудах автора.

Результаты диссертационных исследований имеют перспективу использования при разработке высокоточных средств измерений

(клинических дозиметров и дозиметров-спектрометров) нейтронного излучения;

Аннотация полностью соответствует содержанию диссертации и корректно представляет достигнутые результаты;

Диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Федоров Сергей Григорьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 – «Метрология и метрологическое обеспечение».

Официальный оппонент:

доктор технических наук Васильев Игорь Олегович,
советник отдела технического регулирования, стандартизации и метрологического обеспечения Департамента развития научно-производственной базы ядерного оружейного комплекса Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»,

Российская Федерация, 119017, г. Москва, ул. Б. Ордынка, д. 24

тел.: +7-910-423-30-58

e-mail: iovasilyev@rosatom.ru



Васильев И.О.

10.09.2026 г.

Подпись доктора технических наук Васильева Игоря Олеговича удостоверяю:



Зам. начальника Управления по
работе с персоналом ГК Росатом
О.Ю. КАХЕРСКИЙ

