

ОТЗЫВ

официального оппонента Чолаха Сеифа Османовича, доктора физико-математических наук, профессора, о диссертационной работе Пышкиной Марии Дмитриевны «Совершенствование системы индивидуального дозиметрического контроля нейтронного излучения на объектах использования атомной энергии», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

Актуальность диссертационной работы. Широкий диапазон энергий нейтронов приводит к сложностям в метрологии нейтронного излучения. Любые малогабаритные индивидуальные дозиметры имеют энергетическую чувствительность, отличающуюся от энергетической зависимости требуемой нормативными документами величины – индивидуального эквивалента дозы. Поэтому дозиметры, отградуированные в стандартных опорных нейтронных полях, могут завышать или занижать свои показания в десятки раз. Для расчета поправочных коэффициентов необходимо иметь детальную информацию о полном энергетически-угловом распределении нейтронных потоков на каждом рабочем месте. В свою очередь, для решения подобной задачи необходимо создание средств измерений, методического и программного обеспечения. В связи с этим тема диссертационной работы Пышкиной М.Д., посвященной разработке аппаратно-методического комплекса для спектрометрии и дозиметрии нейтронного излучения, а также демонстрации его практического применения на объектах использования атомной энергии (ОИАЭ) представляется, несомненно, *актуальной*.

Структура и основное содержание работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списков терминов и определений, сокращений и обозначений и списка литературы. Работа изложена на 154 страницах текста, содержит 25 таблиц, 41 рисунок, 7 приложений. Список литературы включает 109 источников.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, отражены теоретическая и практическая значимость, научная новизна полученных результатов, представлены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен обзор литературных данных, анализ и классификация известных методов определения энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения. Во **второй главе** диссертации описана разработка технического исполнения мультиферного спектрометра с использованием ${}^3\text{He}$ – пропорционального счетчика повышенной чувствительности и набора сфер-замедлителей различного диаметра для определения дифференциальной плотности потока нейтронного излучения в диапазоне энергий от 0,025 эВ до 20 МэВ. В **третьей главе** диссертации описан метод математической обработки результатов измерений индивидуальных эквивалентов доз нейтронного излучения индивидуальными дозиметрами, учитывающий энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения, позволяющий определять принятое значение эффективной дозы облучения нейтронным излучением для обоснования поправочных коэффициентов с целью корректного определения эффективной дозы. В **четвертой главе** диссертации описан метод измерения эффективной дозы при аварийном нейтронном облучении путем размещения индивидуального дозиметра внутри тела человека. В **приложении** приведены копии аттестованных методик, разработанных Пышкиной М.Д. в ходе выполнения диссертационной работы, а также копия патента на пероральный дозиметр нейтронов.

Диссертация изложена логично структурирована, написана понятным и грамотным языком, а представленные в ней материалы полностью обосновывают основные положения, выносимые автором на защиту. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Анализ защищаемых положений. В работе представлены три защищаемых положения.

Первое защищаемое положение утверждает, что метод математической обработки результатов измерений скорости счета нейтронного излучения, основанный на мультиферном методе, позволяет определять дифференциальную плотность потока нейтронного излучения в диапазоне от 0,025 эВ до 20 МэВ с относительной расширенной неопределенностью не более 60 %.

Второе защищаемое положение представляет метод математической обработки результатов измерений индивидуальных эквивалентов доз нейтронного излучения индивидуальными дозиметрами, учитывающий энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения, позволяющий определять принятое значение эффективной дозы облучения нейтронным излучением для обоснования поправочных коэффициентов с целью корректного определения эффективной дозы.

Третье защищаемое положение представляет метод измерения эффективной дозы при аварийном нейтронном облучении путем размещения индивидуального дозиметра внутри тела человека позволяющая выполнить адекватную оценку эффективной дозы при произвольном спектре нейтронного излучения.

Научная новизна полученных результатов.

Первым пунктом научной новизны заявлена разработка мультиферного спектрометра нейтронного излучения на основе ^3He -счетчика под давлением и метод математической обработки результатов измерений прибора для определения энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения на рабочих местах персонала ОИАЭ. Научная новизна разработанного средства измерений обусловлена оригинальностью технических подходов, использованных при его создании. Новизна методов восстановления спектров обусловлена подходами, использованными для расчета функции отклика детектора с различными замедляющими сферами. Выбор и обоснование предложенного математического метода восстановления спектра нейtronов обладает, несомненно, научной новизной.

В качестве *второго пункта научной новизны* заявлен метод математической обработки результатов измерений, позволяющий оценивать принятое значение эффективной дозы облучения нейтронным излучением для энергий нейтронов в диапазоне от 0,025 эВ до 20 МэВ. Научная новизна предлагаемого метода обусловлена проведением одновременных измерений нейтронных потоков на рабочих местах объектов использования атомной энергии при помощи мультиферного спектрометра нейтронов и

индивидуальных дозиметров нейтронов, расположенных на фантоме, имитирующем торс человека.

В качестве *третьего пункта научной новизны* заявлена разработка метода определения эффективной дозы при аварийном нейтронном облучении, основанный на размещении индивидуального дозиметра внутри тела человека.

Обоснованность и достоверность результатов не вызывает сомнений. Она обеспечивается верификацией как используемых методов математической обработки и средств измерений, включенных в Реестр средств измерений Федерального информационного фонда, аттестованных алгоритмов, представленных в справочных изданиях МАГАТЭ, а также фантомными экспериментами, проведенными на рабочих местах в АО «Институт реакторных материалов».

Теоретическая и практическая и значимость обусловлена следующим рядом факторов. Во-первых, проведённые расчеты функции отклика детектора могут быть использованы в качестве справочного материала при разработке других средств измерений нейтронных потоков. Во-вторых, разработана методика решения некорректной задачи по восстановлению непрерывного спектра нейтронов на основании результатов измерений с ограниченным количеством детекторов нейтронов. В-третьих, разработан и внесен в Государственный реестр средств измерений мультиферный спектрометр нейтронов. В-четвертых, разработана и аттестована методика определения поправочных коэффициентов для индивидуальных дозиметров нейтронного излучения. В-пятых, разработана, испытана и защищена патентом конструкция индивидуального дозиметра нейтронов для аварийных условий.

Полнота представления основных результатов диссертации в рецензируемых научных изданиях и конференциях. Основные результаты диссертационной работы представлены в 9 научных работах, из них 5 статей опубликованы в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК. Получены патент на полезную модель и свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ. Материалы диссертационной работы представлены на многочисленных конференциях, в том числе и зарубежных.

При ознакомлении с текстом диссертационной работы Пышкиной М.Д. возник ряд вопросов и замечаний.

1. В первой главе диссертационной работы дан анализ математических методов восстановления спектров нейтронов по ограниченному количеству экспериментальных данных (решение интеграла Фредгольма первого рода). Вместе с тем во второй главе сразу используется метод восстановления спектра на основании вычисления минимума невязки при сравнении измеренных скоростей счета и скоростей счета, полученных путем перемножения матриц чувствительности детектора в сферах-замедлителях и спектра нейтронного излучения, представляемого в виде суперпозиции спектра тепловых, промежуточных и быстрых нейтронов, описываемых соответствующими формулами. В связи с этим возникает вопрос: «Какие из рассмотренных в Главе 1 методов восстановления спектров были опробованы, и в чем заключались преимущества метода, используемого в дальнейшем?».

2. В тексте диссертационной работы и в первом защищаемом положении говорится о точности восстановления спектра с относительной расширенной неопределенностью не более 60 %. Вместе с тем детального обоснования именно этого значения в диссертационной работе не приведено. На странице 61 указано значение относительной суммарной неопределенности равное $u_c = 19\%$. В связи с этим возникает вопрос: «Чем была обусловлена оценка относительной расширенной неопределенности не более 60 %?».

3. В Главе 3 для определения анизотропии нейтронного излучения на рабочих местах были использованы как прямопоказывающие электронные дозиметры EPD-N2 и DMC 2000GN, так и термolumинесцентные альбедные дозиметры Harshaw и ДВГН-01, расположенных на различных сторонах фантома. Как следует из текста диссертации, по крайней мере на двух объектах (Белоярская и Нововоронежская АЭС) применялись оба типа детекторов. В связи с этим возникает вопрос: «По показаниям каких детекторов (электронных или альбедных) были построены рисунки 3.12 и 3.13 и наблюдалась ли разница в оценке анизотропии нейтронных потоков при использовании различных типов детекторов?».

4. В Главе 4 предложено весьма оригинальное решение проблемы оценки доз облучения при аварийных работах в условиях, когда спектры нейтронных потоков неизвестны. Такие дозиметры будут применяться только для случаев ожидаемого повышенного облучения. Прием таких дозиметров может быть совмещен с профилактическим приемом таблеток йодистого калия перед входом в зону аварии. В связи с этим возникает вопрос: «Является ли ситуация, когда применение таких дозиметров оправдано, исключительно гипотетической или в мировой практике действительно возникали ситуации, когда использование подобных дозиметров будет, действительно, актуально?»

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не ставят под сомнение научную значимость этой работы, полностью соответствующей требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Заключение

Считаю, что диссертационная работа на тему «Совершенствование системы индивидуального дозиметрического контроля нейтронного излучения на объектах использования атомной энергии» соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор Пышкина Мария Дмитриевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

Профессор кафедры электрофизики,
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б. Н. Ельцина», доктор
физико-математических наук, профессор,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19,
тел. +7 (343) 375-44-44, E-mail: contact@urfu.ru

Чолах С. О.

21.11.2022

Подпись Чолаха Сеифа Османовича заверяю:

Ученый секретарь УрФУ



Морозова В. А.