ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию **Мостафа Мостафа Юнесс Абдельфатах**

“СРЕДСТВА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЕДИНИЦ ОБЪЕМНОЙ И ЭКВИВАЛЕНТНОЙ РАВНОВЕСНОЙ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА“,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики.

Проблема радона в помещениях является одной из важнейших глобальных проблем радиационной гигиены. Суть проблемы в том, что радиоактивный газ радон накапливается практически в любых помещениях, при этом его дочерние продукты распада (ДПР) иногда могут создавать высокую дозовую нагрузку на респираторный тракт человека, результатом которой является повышенная вероятность онкологических заболеваний. Во всем мире этой проблеме уделяется самое серьезное внимание. В развитых странах в течение многих лет осуществляются исследовательские и обследовательские программы. Оценка радоноопасности территорий, зданий и отдельных помещений выполняется, как правило, на основе специальных измерений и является достаточно трудоемким и дорогим процессом. Для обеспечения единства измерений необходима система, обеспечивающая передачу размера единицы измерения от первичного эталона к образцовым, а далее к рабочим средствам измерений.

Диссертационная работа Мостафа Мостафа Юнесс Абдельфатах посвящена разработке и исследованию характеристик прототипов специальных эталонов воспроизведения объемной активности (ОА) и эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона с неопределённостью, не превышающей 3 %, а также методик передачи размера этих величин образцовым и рабочим средствам измерений.

Актуальность работы не вызывает сомнений, поскольку в Российской Федерации в настоящее время отсутствует Государственный специальный эталон ОА радона, а конструкция и процедуры практического применения первичного эталона объемной активности ДПР радона весьма сложны. Во многих других странах метрологическое обеспечение единства измерений ОА и ЭРОА радона отсутствует полностью.

В работе детально и критически рассмотрен мировой опыт по созданию эталонных средств воспроизведения ОА и ЭРОА радона, проведены собственные исследования, на основе чего предложены **оригинальные** технические решения, оптимально сочетающие в себе различные подходы при создании эталонных средств воспроизведения нужных величин. В частности: использованы твердые эманирующие

Вх. №05-19/1-983
от 27.11.19 г.

источники ^{226}Ra, а в качестве основного измерительного средства гамма-спектрометр на базе HPGe-детектора; применяются проточная и замкнутая системы прокачки; осуществляется непрерывный контроль коэффициэнта эманирования путем измерения соотношений активностей $^{214}Pb/^{226}Ra$ и $^{214}Bi/^{226}Ra$ в радиевом источнике; производится измерение активности аэрозолей, осаждённых на фильтре, по активности ДПР радона изотопа ^{214}Bi; определены значения неопределенностей измеряемых величин и пути их снижения.

Полученные в диссертации результаты весьма **существенны для практики**, так как впервые разработанные в России прототипы специальных эталонов единиц ОА и ЭРОА радона позволяют в перспективе создать Государственные специальные эталоны этих величин. На основе предложенных прототипов разработаны процедуры передачи размера единиц от эталонов к образцовым и рабочим средствам контроля этих величин, которые могут служить основой для разработки методик поверки этих средств с использованием данных эталонов.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием прецизионных средств измерений, эталонных мер, аттестация которых прослеживается до ведущих метрологических центров, хорошей воспроизводимостью данных измерений и использованием современных методов статистической обработки результатов экспериментальных исследований. Основные результаты диссертации обсуждались с ведущими специалистами на многих международных и российских конференциях, на международных рабочих совещаниях и получили положительную оценку.

Хотелось бы остановиться на ряде важных результатов, полученных в диссертационной работе.

В **первой главе** выполнен подробный (на 45 стр.) обзор современного состояния метрологической базы измерений ОА и ДПР радона.

На основе обзора сделан ряд выводов, важных для планирования собственных разработок. Во-первых, было решено отказаться от жесткой привязки первичного эталона к радиевому стандарту, как это и сделано в большинстве стран. Во-вторых, было показано, что прямое измерение активности радона в сосуде, куда он может быть переведен из измерительной камеры, как правило, не обладает достаточной для средства воспроизведения единиц ОА радона точностью вследствие недостаточного учета геометрического фактора. В связи с этим, наиболее перспективным в плане реализации требуемых характеристик к средству воспроизведения единиц ОА радона было признано дальнейшее развитие подходов, реализованных при создании эталона ОА радона и торона с непрерывным контролем коэффициента эманирования источника ^{226}Ra путем

измерения соотношения активностей ^{226}Ra и ^{214}Pb или ^{214}Bi в твердом источнике при прокачивании воздуха через эманатор. В этом случае исключается необходимость определения геометрического фактора при регистрации гамма-излучения из объемного газового источника. Сделан также вывод о желательности максимальной унификации используемого оборудования с тем, чтобы одни и те же стандартные средства измерений могли быть использованы как в эталоне ОА радона, так и в эталоне ЭРОА радона. Таким средством измерения может быть гамма-спектрометр на основе HPGe-детектора.

Во **второй главе** описаны разработанные в диссертационной работе конструкции средств воспроизведения ОА и ЭРОА радона.

Для воспроизведения единицы ОА радона разработаны конструкции средств, работающих как в проточном, так и в замкнутом режимах, в которых обеспечен непрерывный контроль коэффициента эманирования путем измерения активности нуклидов ^{214}Pb и ^{214}Bi в эманирующем твердом источнике ^{226}Ra. Измерение ЭРОА радона в средстве воспроизведения данной величины осуществлено путем единственного измерения активности ^{214}Bi и расчета значения ЭРОА радона по методу Кузнеца. Использование для определения ЭРОА радона γ-спектрометра позволяет избежать влияния неопределенностей, обусловленных поглощением α-излучения в материале фильтра. Для измерений активностей радионуклидов в обоих случаях используется гамма-спектрометр на основе полупроводникового Ge-детектора особой чистоты. В качестве вспомогательного оборудования при разработке средств воспроизведения единиц ОА и ЭРОА радона были использованы радон-монитор AlphaGUARD PQ2000 и радиометры RAMON-01M и БДПА-01.

В **третьей главе** описаны расчетные методики и результаты измерений характеристик разработанных средств воспроизведения единиц ОА и ЭРОА радона.

Показано, что разработанные средства воспроизведения единицы ОА радона, работающие в проточном и замкнутом режимах, позволили обеспечить суммарную стандартную неопределенность ОА радона 3,7 %. Снижение неопределенности измерения активности ^{226}Ra до величины 0,8 %, увеличение для средства воспроизведения единицы ОА радона, работающего в проточном режиме, длительности измерений активности ^{214}Pb и ^{214}Bi в четыре раза и повышение коэффициента эманирования источника ^{226}Ra позволяет получить значение суммарной неопределенности ОА радона равное 2,6–2,9 %.

Средство воспроизведения единицы ЭРОА радона обеспечивает суммарную стандартную неопределенность 3,8 %. Доминирующим источником суммарной неопределенности является стандартная неопределенность скорости счета в пике

полного поглощения. При снижении этой неопределенности до значения 1,6 %, а также исключения влияния стандартной неопределенности оценки коэффициента Кузнеца суммарная стандартная неопределенность измерений ЭРОА радона может быть снижена до 2,2 %.

В **четвертой главе** рассмотрены методы передачи размера единицы измерения ОА и ЭРОА радона от средств воспроизведения единиц к поверяемым средствам измерений.

Показано, что при передаче размера единицы измерения ОА радона электронным средствам измерений основными источниками суммарной неопределенности являются неопределенность средства воспроизведения и неопределенность, обусловленная пуассоновским распределением количества зарегистрированных импульсов. Отмечается, что для трековых детекторов основными источниками неопределенности являются "неопределенности, связанные с процессом обработки материала трекового детектора". В качестве **замечания** можно отметить, что эта фраза, используемая в диссертации, является не точной. Может возникнуть впечатление, что имеются в виду неопределенности, связанные с случайными вариациями условий обработки детектора (концентрации травителя, температуры и времени травления). На самом деле эти неопределенности пренебрежимо малы по сравнению с неопределенностями, вызванными самим физико-химическим процессом образования трека травления – соотношением скоростей травления поврежденного и неповрежденного материала, определяющим эффективность регистрации альфа-частицы в трековом детекторе. Неопределенность эффективности связана с разбросом критических углов регистрации для альфа-частиц разных энергий. По-видимому, более точная формулировка: "неопределенности, связанные с процессом образования трека травления в детекторе и подсчетом треков".

Диссертация аккуратно оформлена, написана хорошим языком, ей свойственны точные и краткие формулировки.

Характеризуя диссертационную работу в целом, можно заключить, что соискатель Мостафа Мостафа Юнесс Абдельфатах выполнил большой объем работ как экспериментального, так и расчетного характера, получил ряд новых и полезных результатов. Диссертационная работа является законченным научным исследованием, содержащим новые решения актуальной задачи по созданию средств воспроизведения единиц объемной и эквивалентной равновесной объемной активности радона. Содержание диссертации по основным диссертационным показателям (актуальность, новизна, достоверность, практическая значимость) полностью отвечает требованиям,

предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики и требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней УрФУ, а Мостафа Мостафа Юнесс Абдельфатах заслуживает присуждения искомой степени.

Текст автореферата и опубликованные работы правильно отражают содержание диссертации.

Доктор технических наук,

старший научный сотрудник В.А. Николаев

14.11.2019

Подпись руки В.А. Николаева заверяю.

Ученый секретарь Радиевого

ин-та им. В.Г. Хлопина, И.В. Смирнов

Николаев Вадим Аркадьевич, доктор технич[illegible]к, с.н.с., ведущий научный сотрудник лаборатории промышленной санитарии, охраны окружающей среды и радиационной безопасности АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», 194021, Санкт-Петербург, 2-й Муринский пр., д. 28, тел/факс: 8 (812) 297-57-00, e-mail: nikolaev@khlopin.ru