



**ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ**

Филиал акционерного общества
«Федеральное бюро технического учета и контроля»
научно-исследовательский филиал-структурное
подразделение имени Л.Я. Карпова

Россия, 105064, Москва, ул. Воронцово поле, дом 10, стр.1

Исх. № 229-1-22/374 e-mail: secretary@nifhi.ru, тел. (495) 917-32-57, факс (495) 917-24-90

На № 11-07/562 от 24.04.2018

«28» апреля 2018 г.

В диссертационный Совет

Д 462.001.02

123182, Москва, ул. Живописная.46

ГНЦ ФМБЦ им.А.И. Бурназяна

Направляю Вам отзыв оппонента В.М. Минашкина на диссертацию А.Е. Карева «Аппаратурно-методический комплекс для оценки ингаляционного поступления радиоактивных газо-аэрозольных смесей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Приложение 1. Отзыв. на бл., в 2х экз.

2. Анкета на 1л., в 1м экз.

3. Копии документов оппонента.

Директор филиала АО НИФХИ им.Л.Я. Карпова


А.Ю.Беданок

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Карева Андрея Евгеньевича «Аппаратурно-методический комплекс для оценки ингаляционного поступления радиоактивных газо-аэрозольных смесей», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.26.02 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ядерный топливно-энергетический комплекс)».

Актуальность

Дисперсный состав является важнейшей характеристикой, определяющей дозу внутреннего облучения при ингаляционном поступлении радиоактивных аэрозолей. Радиоактивные аэрозольные частицы, попадая в организм вместе с вдыхаемым воздухом, осаждаются в различных отделах дыхательного тракта в зависимости от их размеров, соответственно, и дозовые нагрузки при одной и той же объемной активности аэрозоля будут различаться в зависимости от дисперсности.

Для перехода от объемной активности к ожидаемой эффективной дозе применяют дозовые коэффициенты (Зв/Бк), которые зависят от дисперсного состава (АМАД), нуклидного состава и типа соединения при ингаляции. В Приложении 1 НРБ-99/2009 представлены дозовые коэффициенты, рассчитанные для аэрозолей с АМАД 1 мкм и стандартным геометрическим отклонением 2,5, при этом из научной литературы известно, что фактические распределения активности по аэродинамическим диаметрам аэрозольных частиц на рабочих местах могут быть иными. Это приводит к появлению ошибки при расчете доз внутреннего облучения, что может повлечь проведение неоправданных мероприятий по радиационной защите (при завышении доз).

В случае радиоактивных газо-аэрозольных смесей для адекватной оценки дозы внутреннего облучения необходимо измерять объемную активность как аэрозольной, так и газовой составляющей. В последнем случае требуется применение специальных пробоотборников и сорбентов, которые недостаточно широко распространены и доступны.

При отсутствии информации об указанных характеристиках газо-аэрозольных смесей исследователи при анализе последствий радиационных аварий для расчета доз вынуждены использовать предположения о дисперсном и фазовом составе. Таким образом, актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений.

Цели и задачи диссертационной работы

Целью работы является разработка аппаратурно-методического комплекса для оценки ингаляционного поступления радиоактивных газо-аэрозольных смесей.

Для достижения данной цели автор решил следующие задачи:

1. Разработан метод оценки активности аэрозольных частиц, осажденных в отделах дыхательного тракта человека, на основе экспериментальных данных, полученных с помощью импактора.
2. Разработан импактор для реализации метода оценки активности аэрозольных частиц, осажденных в отделах дыхательного тракта человека.
3. Разработан способ оценки ингаляционного поступления на основе анализа фазового и дисперсного состава радиоактивных газо-аэрозольных смесей и устройство для реализации данного способа.

Научная новизна работы

Разработанный метод обработки экспериментальных данных, полученных с помощью импактора, позволяет оценить активность аэрозольных частиц, осажденных в отделах дыхательного тракта независимо от формы распределения активности по размерам частиц. Для реализации данного метода разработан импактор-фантом респираторного тракта; новизна подтверждена патентом RU 2509375. Разработано устройство, состоящее из размещенных последовательно импактора и химического реактора, позволяющее повысить точность оценки дозы внутреннего облучения при ингаляционном поступлении радиоактивных газо-аэрозольных смесей; новизна подтверждена патентом RU 2480730.

Практическая значимость работы

Разработанные автором устройства прошли апробацию на различных предприятиях атомной отрасли (завод 45 ФГУП «ПО «Маяк», Химико-металлургический, Сублиматный завод, Завод разделения изотопов АО «СХК»), в результате были получены физико-химические характеристики радиоактивных аэрозолей воздушной среды производственных помещений, с учетом которых автором были рассчитаны дозовые коэффициенты, позволяющие устранить систематическое завышение оценки ожидаемой эффективной дозы от 1,6 (ХМЗ АО «СХК») до 3,8 раз (Сублиматный завод). Для ФГУП «ПО «Маяк» и ХМЗ АО «СХК» рассчитаны ожидаемые эквивалентные дозы облучения в год экстраторакального и торакального отделов респираторного тракта. Оценена доля газообразного гексафторида урана на Сублиматном заводе и Заводе разделения изотопов АО «СХК». Разработана методика измерений «Определение характеристик распределения радиоактивного аэрозоля по размерам с помощью импактора-фантома респираторного тракта человека», которая аттестована и зарегистрирована в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений.

Личный вклад автора выразился в разработке метода оценки распределения активности аэрозольных частиц по отделам дыхательного тракта, для чего был проведен анализ Публикации 66 МРКЗ. Автором рассчитаны параметры каскадов импактора для реализации данного метода. Проведено численное моделирование осаждения аэрозольных частиц на каскадах данного импактора, а также исследование его экспериментальных характеристик на специальном стенде. Проведена апробация разработанного импактора и химического реактора на различных предприятиях атомной отрасли.

Апробация работы проведена на достаточно большом количестве российских и международных конференций в период с 2012 по 2017 год.

Публикации. Основные результаты, представленные в диссертации, опубликованы в достаточном количестве научных работ, соответствующих требованиям ВАК.

Содержание работы

Работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и четырех приложений, где приведены копии двух патентов и актов внедрения результатов диссертационной работы на предприятиях атомной отрасли (завод 45 ФГУП «ПО «Маяк» и ХМЗ АО «СХК»).

Во введении обосновывается актуальность и научная новизна работы, поставлена цель диссертационного исследования, приведены публикации по теме диссертации.

В главе 1 представлен литературный обзор, включающий краткий анализ нуклидного состава радиоактивных аэрозолей на предприятиях атомной отрасли; обзор методов и устройств для анализа дисперсного состава аэрозолей; обзор характеристик существующих устройств, моделирующих осаждение аэрозолей в респираторном тракте человека; обзор работ в области вычислительной гидродинамики, краткий анализ физико-химических характеристик радиоактивных газо-аэрозольных смесей, а также обзор существующих методов улавливания радиоактивного рутения из газовой фазы. По итогам литературного обзора обоснована цель диссертационного работы, сформулированы задачи для ее достижения.

Глава 2 посвящена разработке метода оценки распределения активности аэрозольных частиц по отделам дыхательного тракта на основе экспериментальных данных, полученных с помощью импактора. На примере каскадного импактора Андерсена показано, что региональное отложение аэрозолей в респираторном тракте нельзя разбить на определенные размерные фракции, что затрудняет моделирование осаждения аэрозолей в дыхательных путях с помощью импактора. Таким образом, обосновывается необходимость разработки метода обработки экспериментальных данных, чтобы на основе значений активности, измеренной на каскадах импактора рассчитать активность

аэрозольных частиц, осажженных в отделах дыхательного тракта в соответствии с морфологией респираторного тракта Публикации 66 МКРЗ. Описана модель осаждения аэрозолей в респираторном тракте Публикации 66 МКРЗ, в результате анализа которой автором был разработан предлагаемый метод. Проведен расчет долей осажженной активности радиоактивных аэрозолей для одномодальных и полимодальных распределений, проведено сравнение с программным комплексом IMBA (относительная погрешность для одномодального распределения составила 8 - 11% в зависимости от отдела респираторного тракта). В случае полимодальных распределений, аппроксимация одномодальным логнормальным распределением может приводить к ошибкам (до 48%) при расчете долей активности аэрозольных частиц, осажженных в отделах дыхательного тракта. Применение предлагаемого метода позволяет устранить данные неопределенности, т.к. расчет ведется по фактической форме спектра, восстановленной на каскадах импактора. Представлены формулы расчета ожидаемых эквивалентных доз облучения торакального и экстраторакального отделов.

В главе 3 проводился расчет параметров конструкции импактора для реализации метода оценки активности аэрозольных частиц, осажженных в отделах дыхательного тракта (импактор-фантом респираторного тракта человека). Описано численное моделирование осаждения аэрозольных частиц в трехмерной модели импактора, которое выполнялось в программном комплексе вычислительной гидродинамики STAR-CCM+, экспериментальные исследования пробоотборных характеристик устройства выполнены на базе специального стенда с помощью шестиканальных оптических счетчиков HandHeld 3016 и полидисперсных аэрозолей NaCl. В результате были получены зависимости эффективности осаждения от аэродинамического диаметра для различных каскадов, по которым были определены значения D_{50} . Проведена оценка минимальной детектируемой активности (МДА) по ^{137}Cs и ^{106}Ru для широкополосного гамма-спектрометра Canberra, сделан вывод о том, что при отборе проб в полевых условиях применение импактора-фантома целесообразно в основном в аварийных ситуациях. Описано применение разработанного импактора на различных предприятиях атомной отрасли для исследования дисперсного состава аэрозолей воздуха производственной среды. На основе полученных распределений активности по аэродинамическим диаметрам (а также полученных автором данных о нуклидном составе и типе соединения при ингаляции исследуемых аэрозолей) рассчитаны дозовые коэффициенты, позволившие устранить завышение при оценке ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения персонала (на ФГУП «ПО «Маяк» в 2 раза, на ХМЗ АО «СХК» - в 1,6 раз, на Сублиматном заводе АО «СХК» - в 3,8 раз).

В главе 4 проводилась разработка способа оценки ингаляционного поступления радиоактивных газо-аэрозольных смесей на основе отдельного анализа фазового и дисперсного состава. Осуществлен подбор реагента для тетраоксида рутения (этанол) и гексафторида урана (водный раствор аммиака). В результате расчетов определено необходимое количество реагента для работы устройства в течение часа при максимальной ожидаемой концентрации газа (предположение, что на вход устройства поступает чистый газообразный тетраоксид рутения RuO_4): 1,3 л этанола.

В главе 5 проводилось численное моделирование и разработка устройства для реализации способа оценки ингаляционного поступления радиоактивных газо-аэрозольных смесей. Описан пример применения разработанного устройства на Сублиматном Заводе и Заводе Разделения Изотопов АО «СХК» для оценки доли газообразной фракции ГФУ.

В целом можно отметить высокую научную и практическую значимость работы. По теме диссертации опубликовано 17 печатных работ, в том числе 7 опубликованы в журналах из списка ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, утвержденных ВАК РФ, 2 патента, тезисы 8 докладов на российских и международных конференциях.

Замечания

1. При сравнении зависимостей доли осажденных аэрозолей от АМАД, рассчитанных разработанным методом с аналогичными зависимостями из Публикации 66 МКРЗ наибольшие значения относительной погрешности наблюдаются для значения АМАД 0,1 мкм – от 27% (трахеобронхиальный отдел) до 39% (бронхиолярный отдел). Для снижения данной погрешности можно рекомендовать ввести в конструкцию предлагаемого импактора дополнительный каскад для улавливания аэрозолей в субмикронной области (например, со значением $D_{50} 0,8$ мкм).
2. В тексте диссертации не указано, на какой высоте над уровнем пола проводился отбор проб аэрозолей на предприятиях, кроме того отсутствует привязка к выполняемым технологическим операциям в момент отбора проб.
3. Во введении автор пишет о том, что «отсутствуют мобильные устройства, позволяющие оперативно получать необходимые экспериментальные данные об основных характеристиках ингаляционного поступления», при этом разработанный автором импактор содержит 8 каскадов (а также - фильтр на выходе из химического реактора) – итого 9 проб для измерений. Таким образом, к достоинствам разработанного устройства можно отнести мобильность, однако *оперативность* обработки экспериментальных данных для получения результата с

приемлемой погрешностью (ввиду достаточно большого объема проб) вызывает сомнения.

Заключение


Несмотря на указанные замечания, считаю, что в целом диссертационная работа Карева А.Е. актуальна, поставленные в ней цели и задачи выполнены в полном объеме, работа имеет высокую научную новизну и практическую значимость, сделана на современном техническом уровне и соответствует всем требованиям пунктов 9, 10, 11, 13 и 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденных Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.02 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ядерный топливно-энергетический комплекс)», а ее автор Карев Андрей Евгеньевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Доктор технических наук, профессор,
заведующий лабораторией аэрозолей и динамики
аэроколлоидов филиала АО «Ордена Трудового
Красного Знамени Научно-исследовательского
физико-химического института им.Л.Я. Карпова
105064, Москва, ул.Воронцово поле, 10, стр.1
E-mail: minash@nifhi.ru , тел. 495 9173257

Минашкин Вячеслав Михайлович
«28» мая 2018

Подпись удостоверяю

Ученый секретарь филиала АО «Ордена Трудового
Красного Знамени Научно-исследовательского
физико-химического института им.Л.Я. Карпова, к.ф.-м.н.


Лакеев Сергей Георгиевич
«28» мая 2018