

Ньян Вин



**АЛЬФА РАДИОМЕТРИЯ ЖИДКОСТИ НА ОСНОВЕ
АЭРОИОННОГО
ДЕТЕКТОРА**

01 04 01 – Приборы и методы экспериментальной физики

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Автор

A handwritten signature in black ink is positioned to the right of the word 'Автор'.

Москва – 2007

Работа выполнена в Московском инженерно-физическом институте
(государственном университете)

Научный руководитель доктор физико-математических наук,
Беляев В Н
МИФИ, г Москва

Официальные оппоненты доктор физико-математических наук,
Крамер-Агеев Е А
МИФИ, г Москва

кандидат технических наук,
Комиссаров А.Б
ФГУП Научно-инженерный центр «СНИИП», г
Москва

Ведущая организация Институт Теоретической и Экспериментальной
физики (ИТЭФ)

Защита состоится « 22 » мая 2007г В 15 час 00 мин на заседании
диссертационного совета Д212 130 07 в МИФИ по адресу.

115409, Москва, Каширское шоссе, д 31, телефон 323-84-98

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИФИ

Автореферат разослан «20» апреля 2007г

Просим принять участие в работе совета или прислать отзыв в одном
экземпляре, заверенный печатью организации

Ученый секретарь
диссертационного совета

Подписано в печать

Заказ  Тираж

В В Дмитренко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Использующиеся в настоящее время приборы для контроля содержания альфа-активных нуклидов в жидкости являются стационарными лабораторными приборами, часто требующими применения большого количества расходных материалов и работающими в режиме ручного отбора проб, что осложняет организацию непрерывного технологического контроля или работ в полевых условиях

Существующие сцинтилляционные методы имеют ограничение по чувствительности (при попытке увеличить рабочий объем детектора), связанное с поглощением света в исследуемой среде в случае применения жидкой сцинтиллирующей добавки, либо с поглощением света в самом конвертере в случае пленочного сцинтиллятора

Предлагаемый в данной работе метод альфа-радиометрии, когда альфа-излучение детектируется не прямым способом, а через регистрацию ионов, возникающих в воздухе на следах частиц, позволяет существенно увеличить эффективный объем исследуемой жидкости, и за счет этого повысить чувствительность детектора и сократить время измерения, что чрезвычайно важно при проведении мониторинга альфа-радиоактивного загрязнения. В совокупности с аэроионным детектором для обнаружения загрязнения территории альфа-радиоактивными изотопами данный метод может стать высокоэффективным средством радиационного экологического мониторинга. Наличие нескольких возможных способов увеличения площади контакта жидкой и воздушной фазы позволяет использовать данный метод и для контроля альфа-радиоактивности в различных технологических процессах, например для измерения объемной активности теплоносителя и обнаружения утечек топлива на атомных электростанциях и хранилищах ядерных отходов. В медицинской практике данным способом можно контролировать активность препаратов, содержащих альфа-радиоактивные изотопы, например, при радонотерапии.

Цель диссертационной работы

Целью является разработка методики измерения альфа активности воды на фоне сопутствующих ионизирующих излучений в реальных атмосферных условиях и в реальном масштабе времени на основе аэроионного метода регистрации альфа излучения

Основные результаты работы

- 1 Предложен набор способов пробоподготовки жидкости для альфа радиометрии на основе аэроионного метода и проведен их сравнительный анализ
- 2 На основе метода Монте-Карло построена математическая модель процесса регистрации альфа-частиц в аэроионном детекторе для воды и произведена оценка оптимальных параметров детекторного блока с помощью этой модели
- 3 Определена структура системы сбора данных с аэроионного детектора и предложен вариант реализации блока управления на базе микроконтроллера
- 4 Создан лабораторный стенд для изучения процесса регистрации альфа частиц в жидкости аэроионным методом
- 5 Исследованы возможности аэроионного метода измерения объемной активности воды и обоснована возможность его применения для технологического и экологического мониторинга альфа радиоактивного загрязнения

Научная новизна результатов работы

- 1 Впервые предложено использовать для обнаружения альфа-радиоактивного загрязнения воды аэроионный метод регистрации альфа-частиц
- 2 Разработаны варианты конструкции альфа радиометра на основе аэроионного метода регистрации альфа частиц и проведен анализ эффективности предложенных конструкций для различных условий измерений
- 3 Впервые показана возможность измерения объемной активности воды с использованием аэроионного метода

Научная и практическая ценность работы.

- 1 Сравнительный анализ различных методов радиометрии альфа частиц в жидкости позволяет выбрать более подходящий к экологическому мониторингу альфа радиоактивного загрязнения метод смачиваемых сеток
- 2 Разработанная математическая модель позволяет делать оценки параметров детектора альфа-излучения при измерении объемной активности в жидкости
- 3 При исследовании методом смачиваемых сеток впервые экспериментально было доказано, что с помощью одного сеточного элемента можно измерить объемную активность воды на уровне 10 Бк/мл , и показано, что в реальном приборе чувствительность может быть увеличена еще на 2 - 3 порядка

Автором выносятся на защиту:

- 1 Метод аэроионной радиометрии альфа излучения жидкости
- 2 Конструкция измерительного блока радиометра для воды на основе аэроионного детектора
- 3 Методика определения оптимальных параметров детектирующего модуля аэроионного радиометра с помощью математического моделирования
- 4 Результаты экспериментальной оценки чувствительности аэроионного радиометра, работающего на основе метода смачиваемых сеток

Апробация работы.

Основные положения работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях Научная сессия МИФИ-2005 (Москва, 2005 г), МИФИ-2006 (Москва, 2006 г), МИФИ-2007 (Москва, 2007 г)

Публикации.

Материал диссертации основан на работах, опубликованных в период с 2005 по 2007 гг в научных журналах, материалах конференций, семинаров Количество работ по теме диссертации, опубликованных и использованных в диссертации 6, из которых 5 основных приведены в автореферате

Структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. В конце каждой главы содержатся выводы, основные выводы диссертации приведены в заключении. Материал изложен на 117 страницах, включая 5 таблиц и 53 рисунков. Список цитируемой литературы содержит 49 наименований. Полный объем диссертации 136 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Совершенствование методов радиометрии жидкости следует из необходимости осуществления всеобъемлющего контроля за содержанием радиоактивных веществ в окружающей среде, так как имеет место нарастание их абсолютного содержания в почве, воде, продуктах питания как следствие широкого использования радионуклидов в энергетике, промышленности, медицине. В рамках общего наблюдения за использованием и распространением радиоактивных веществ важное место занимает контроль за состоянием водоемов и сточных вод промышленных предприятий. И одной из самых сложных задач радиационной экологии является выявление загрязнения водной среды альфа-активными нуклидами.

ВВЕДЕНИЕ диссертации посвящено обоснованию актуальности работы, формулируется цель и конкретные задачи исследования, изложены полученные результаты и основные положения, выносимые на защиту.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ диссертации, имеющей обзорный характер, рассмотрены методы и приборы альфа-радиометрии жидкости. Аппаратура для радиационных измерений жидкости подразделяется на два класса: 1) приборы непосредственного измерения активности без предварительной подготовки пробы (применяются для измерения сравнительно высоких концентраций радионуклидов), 2) методы и приборы, основанные на предварительном концентрировании радионуклидов.

При непосредственном измерении активности исследуемая среда наполняет измерительную камеру фиксированных размеров и конфигурации (например, участок трубопровода), излучение от которой фиксируется детектором. Для регистрации альфа-излучения детектор помещается внутрь измерительной

камеры Суммарное время измерения в приборах первого типа небольшое, но при этом они обладают низкой чувствительностью к объемной активности

Приборы второго типа обеспечивают высокую чувствительность при большом времени накопления данных. Применяемые здесь методики позволяют концентрировать и выделять измеряемый радиоактивный изотоп. Однако, измерение активности образцов при этом, как правило, проводится в низкофоновых условиях. Учитывая нормы радиационной безопасности для альфа-радиоактивных нуклидов радон – $11,1 \text{ Бк/л}$, радий – $0,185 \text{ Бк/л}$, уран – 42 Бк/л , торий – $2,7 \text{ Бк/л}$, плутоний – $1,6 \text{ Бк/л}$, чувствительность таких приборов лежит в области около 1 Бк/л

Предлагаемый альфа радиометр для воды относится к первому классу приборов. Но применение аэроионного метода позволяет, по предварительным оценкам, за счет увеличения исследуемого объема жидкости повысить чувствительность альфа радиометра до уровня $\sim 1 \text{ Бк/л}$ при времени измерения порядка нескольких минут.

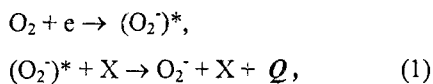
Такой прибор можно будет использовать, например, для контроля альфа радиоактивного загрязнения природных и искусственных водоемов или для наблюдения за промышленными стоками в автоматическом режиме. Модификация этого устройства может применяться и для быстрого определения интегральной альфа активности небольших количеств жидкости в лабораторных условиях.

ВТОРАЯ ГЛАВА посвящена физическим основам метода аэроионной регистрации альфа излучения.

В состав атмосферного воздуха наряду с нейтральными атомами и молекулами входят атомные и молекулярные ионы обоих знаков, образующиеся в результате ионизации атмосферы, в основном, за счет излучения радиоактивных веществ естественного происхождения и, в меньшей степени, за счет космического фона. Увеличение содержания радиоактивных веществ сразу же повышает и концентрацию ионизованных молекул в воздухе. При наличии альфа радиоактивного загрязнения концентрация ионов повышается прежде всего в области прямой ионизации (на расстоянии $< 5 \text{ см}$ от источника). Затем ионы,

имеющие достаточное время жизни, могут за счет различных процессов переноса распространяться на значительные расстояния По ионизационному эффекту, производимому в воздухе можно обнаружить и наличие источников альфа излучения

При прохождении через воздух альфа-частица теряет энергию на ионизацию и возбуждение Для образования ион-электронной пары в воздухе требуется энергия около 35 эВ, что, при энергии альфа-частицы 5 МэВ, приводит к возникновению приблизительно $16 \cdot 10^4$ пар носителей В отсутствие внешнего поля они, в основном, рекомбинируют, но часть электронов захватывается нейтральными атомами и образует отрицательные ионы Отрицательные ионы возникают путем прилипания электронов к электроотрицательным молекулам или в процессе полярной диссоциации нейтральных молекул Кислород является основной электроотрицательной примесью Реакция захвата может быть представлена следующим образом

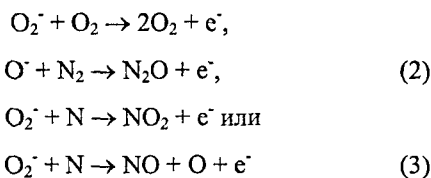


где X – любая молекула, в том числе и молекула кислорода

К образовавшимся ионам под действием поляризационных сил присоединяются нейтральные молекулы газов, входящие в состав воздуха В результате возникают молекулярные комплексы, получившие название легких аэроионов Легкие аэроионы, сталкиваясь с присутствующими в атмосфере ядрами конденсации, оседают на них и отдают им свой заряд В результате образуются тяжелые аэроионы

Главную роль в методе дистанционной регистрации альфа-частиц играют легкие аэроионы Время жизни легких отрицательных аэроионов определяется их рекомбинацией с легкими положительными аэроионами, а также с аэрозольными частицами и при нормальных условиях составляет порядка 10 с Этого времени достаточно для переноса аэроионов с помощью создаваемого воздушного потока от места образования в рабочий объем детектора Аэроионный кластер попадает в неоднородное электрическое поле газоразрядного проволочного детектора, где в окрестности проволочного анода происходит освобождение электрона в

результате столкновений отрицательных ионов с атомами и молекулами среды Энергия, необходимая для отрыва электрона в соударениях, приобретает в электрическом поле, характеризующемся величиной $E/p \geq 100 \text{ В/см} \cdot \text{Торр}$ Свободные электроны появляются в реакциях



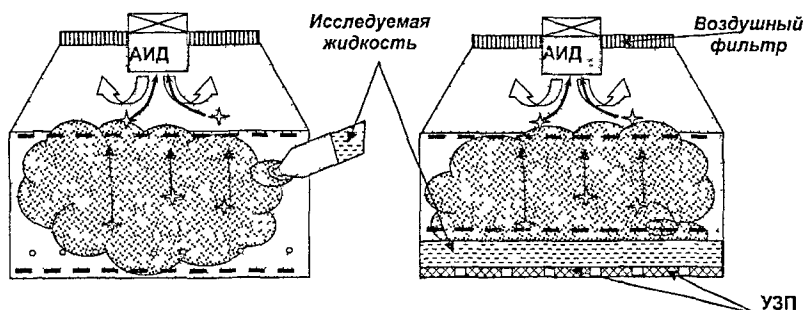
Поскольку детектор работает в пропорциональной области вольт-амперной характеристики, то амплитуда выходного сигнала будет зависеть от плотности заряда, подходящего к аноду. Поскольку ионизационная плотность на следах альфа-частиц существенно превосходит плотность на следах электронов и траекториях гамма-квантов, становится возможным отличать разряд аэроионных кластеров альфа-частиц от разрядов, вызванных другими фоновыми излучениями.

Этот принцип реализован в приборе аэроионной топометрии, позволяющем обследовать различные объекты с большой поверхностью сложной формы. В качестве детектора аэроионов в нем используется открытая на воздух ионизационная камера, работающая в счетном режиме (режим ограниченной пропорциональности). К преимуществам такого подхода можно отнести высокую чувствительность и селективность по отношению к различным видам ионизирующих излучений.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ рассмотрены различные методические схемы аэроионной радиометрии жидкости. Для использования возможностей аэроионного способа регистрации альфа-частиц необходимо решить две задачи: создать максимальную площадь контакта измеряемой жидкости с воздухом и обеспечить эффективную транспортировку образовавшихся аэроионных кластеров к ионизационной камере.

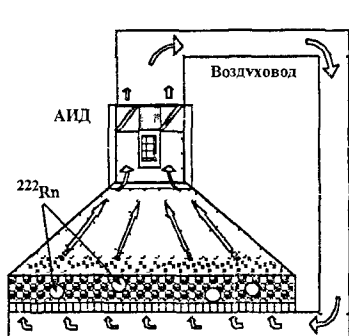
Были рассмотрены следующие способы пробоподготовки жидкости для ее последующей радиометрии с помощью аэроионного детектора –

диспергирование, аэрация, вспенивание и создание тонкой пленки жидкости на сеточном носителе

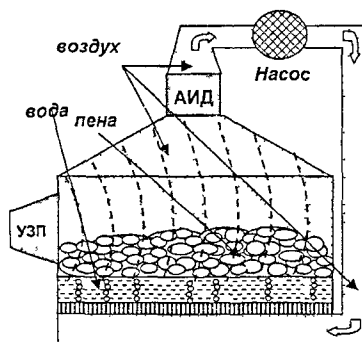


Диспергирование с форсункой

Диспергирование с ультразвуком



Аэрация



Вспенивание

Рис 1. Функциональные схемы предлагаемых методов

• Метод диспергирования можно осуществить, либо, с помощью форсунки, либо путем ультразвукового распыления. На форсунку под давлением подается исследуемая жидкость. На выходе форсунки происходит диспергирование водного раствора. В объеме рабочей камеры создаются условия для поддержания оптимальной концентрации капель диаметром от десяти до ста микрон. При распаде радиоактивного изотопа внутри такой капли вероятность выхода альфа частицы с энергией 5 МэВ в воздух близка к единице. Если α -частица не попадает сразу в соседнюю каплю, то на ее треке образуются ионные кластеры, которые необходимо доставить в ионизационную камеру. Для этого с

помощью электродов, расположенных внутри, в рабочем объеме камеры создается дрейфовое электрическое поле

- Методика вспенивания заключается в том, что к исследуемой жидкости добавляется пенообразователь, и через получившийся раствор, пропускается воздух. В результате жидкость превращается в пену, состоящую из воздушных ячеек, стенки которых достаточно тонкие, чтобы альфа-частицы с высокой эффективностью могли выходить из них внутрь ячейки. Вышедшие из стенок альфа-частицы создают внутри ячеек ионные кластеры, которые транспортируются либо электрическим полем, либо воздушным потоком к ионизационной камере аэроионного детектора.

- Аэрационная методика измерения α -активности воды предполагает прокачивание воздуха через исследуемую жидкость с помощью насоса. При этом пузырьки возникают на дне рабочей камеры и проходят через весь объем исследуемой жидкости. Альфа-частицы, возникающие в непосредственно прилегающем к пузырькам слое жидкости толщиной около 40 мкм, могут выйти внутрь пузырька и образовать там ионные кластеры. Пузырьки поднимаются на поверхность жидкости и освобождающиеся ионы потоком воздуха и/или электрическим полем затягиваются в детектор.

- Метод смачиваемых сеток основан на формировании пленки воды на сетках. Каркас с натянутой на него сеткой погружается в исследуемую воду, где растворены альфа-радиоактивные вещества. Вода смачивает нити и в пространстве между нитями образует тонкую пленку. Сетка вынимается из воды вместе со слоем жидкости на ее поверхности. Альфа-распад растворенного радиоактивного изотопа происходит внутри пленки воды, но альфа-частицы с высокой вероятностью выходят из нее в воздушный зазор между сетками, образуя там ионные кластеры. Транспортировку аэроионов к детектору можно осуществлять либо с помощью электрического поля, либо воздушным потоком.

В таблице 1 приведены оценки эффективности и чувствительности предлагаемых методик для однократного измерения за время *1000 секунд* со статистической точностью не хуже *10%*

Полученные оценки носят предварительный характер, но они позволяют говорить о перспективности аэроионной методики для измерений объемной активности жидкости

Таблица 1.

Методика		Вид исследуемого образца (Объем, л)	Габариты камеры, м	Объем исследуем Жидкости, л	Эффективность	Мин рег. акт. Бк / л
Диспергирование		Проба (0 5л)	1×1×0.7	0 05	10 ⁻¹	20
Вспенивание		Проба (1л)	1×1×0 5	0 5	10 ⁻²	20
Аэрация		Проба (>10л), водоем	1×1×0 8	100	10 ⁻⁴	10
Смачиваемые сетки	с электростат. дрейфом	водоем	1×1×0 6	5	10 ⁻³	20
	с воздушным потоком		1×1×1 2		10 ⁻²	2

Для целей экологического контроля наиболее подходящим представляются аэрационная методика и методика, основанная на смачивании сеток. Обе они достаточно просты и не требуют никаких расходных материалов для пробоподготовки. При необходимости длительного непрерывного контроля альфа радиоактивности в одном месте требуется наличие автоматизированного радиометра, и тогда аэрационный метод представляется более простым и надежным. При наличии автоматического режима такой детектор можно использовать и для измерения глубинного профиля концентраций альфа радиоактивных изотопов. Для экологического обследования водоемов в ручном режиме, методика смачиваемых сеток выглядит предпочтительнее, так как

обладает более высокой чувствительностью и меньшими энергозатратами. Поэтому для более детального экспериментального исследования был выбран метод смачиваемых сеток. На рис.2.а. изображена конструкция детекторного блока для измерения объемной активности воды методом смачиваемых сеток.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ обсуждаются способы доставки аэроионов к ионному счетчику и описывается математическая модель процессов, происходящих в рабочем объеме аэроионного детектора с электростатической транспортировкой аэроионов. Целью моделирования была оптимизация конструктивных и электрических параметров детекторного блока.

Детекторный блок состоит из набора тонких сеток, на которых формируется пленка воды, системы транспортировки аэроионов и газоразрядного счетчика ионов (ГРС). Схематическое изображение моделируемого элемента представлено на рис.2.б

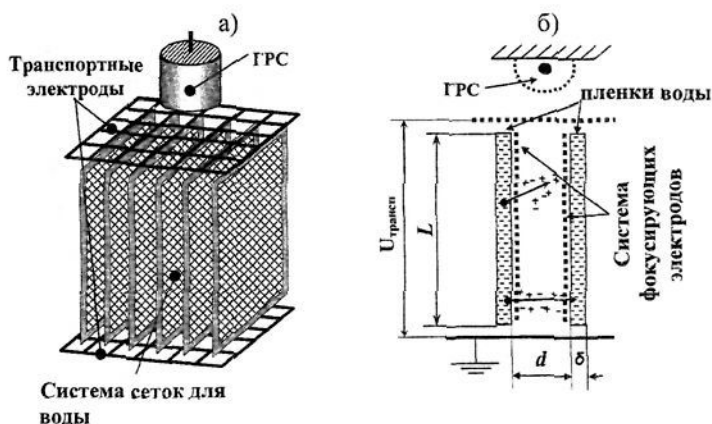


Рис. 2.(а) Функциональная схема методики смачиваемых сеток, (б) схематическое изображение одного сеток

Рассматривалось четыре последовательных процесса:

- 1) прохождение альфа-частиц через тонкую пленку воды;
- 2) ионизация, производимая альфа-частицей в воздушном зазоре между сетками;
- 3) транспортировка аэроионов к газоразрядному детектору;

4) процесс регистрации аэроионов в газоразрядном детекторе, открытом на воздух

На первом этапе моноэнергетические альфа-частицы с энергией 5 МэВ, испущенные растворенным в воде радиоактивным изотопом, теряют энергию в процессе многократного рассеяния на атомах кислорода и водорода. Этот процесс моделировался методом Монте-Карло, рассчитывалось число частиц, вышедших из пленки в воздушный зазор, а также координаты, угловое и энергетическое распределения частиц. Выбиралась оптимальная толщина пленки δ . Основным критерием выбора является суммарная энергия вышедших альфа-частиц.

На втором этапе рассчитывалась пространственная плотность ионизации в воздухе. Определялась ширина оптимального воздушного зазора между пленками d . Критерием выбора являлась максимальная плотность ионизации в рабочем объеме радиометра.

На рисунке 3 изображена зависимость числа альфа-частиц выходящих из пленки от ее толщины. До толщины пленки ~ 30 мкм число вышедших альфа-частиц быстро увеличивается, так как по мере увеличения толщины пленки соответственно возрастает и общее количество альфа-радиоактивных нуклидов. Затем рост числа распадов все более и более компенсируется поглощением альфа-частиц в среде. При толщине ~ 100 мкм число вышедших частиц достигает максимума и далее не меняется, т.к. частицы, образовавшиеся на глубине более 50 мкм, не доходят до поверхности. На рис 4 изображено энергетическое распределение вышедших альфа-частиц.

Зная место выхода альфа-частицы, ее энергию и угол выхода, можно рассчитать плотность ионизации в объеме детектора, усредненную по всем вышедшим частицам. По среднему значению плотности ионизации можно оценить необходимую ширину воздушного зазора между пленками.

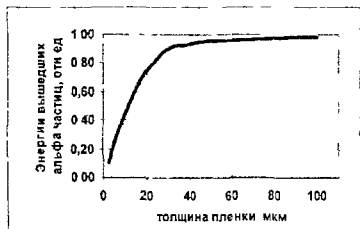


Рис 3 Зависимость суммарной энергии вышедших альфа-частиц от толщины пленки

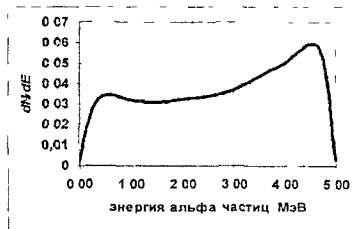


Рис 4 Энергетическое распределение вышедших альфа-частиц

На рис 5 изображена интегральная плотность ионизации в зазоре воздуха между пленками, расположенными на расстоянии 2.5 см, при разыгрывании 10000 альфа-распадов, происходящих в водяной пленке. Видно, что при сближении сеток плотность ионов будет расти. Минимальное расстояние между сетками будет определяться процессами переноса аэроионов к ионизационному детектору.

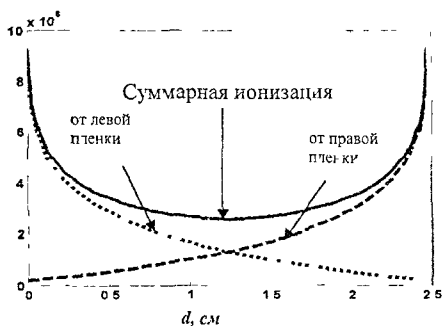


Рис 5 Плотность ионизации в зазоре воздуха между пленками

На третьем этапе моделирования методом конечных элементов рассчитывалась конфигурация электростатического поля, транспортирующего аэроионы. В качестве граничных условий выбирались оптимизируемые геометрические и электрические параметры системы электродов. Критерием для выбора здесь служила величина ионного тока вблизи катода газоразрядного детектора. Для учета качества отбора событий в открытом на воздух газоразрядном счетчике определялось оптимальное рабочее напряжение на детекторе.

Зная конфигурацию электрического поля, а также координаты, угол и энергию выхода с поверхности пленки, можно для каждой альфа частицы оценить количество ионов, достигающих детектора и временные характеристики ионного потока, определяющие величину и форму токовых импульсов на детекторе.

На рис.6 приведены две зависимости числа ионов выходящих из зазора между пленками от напряжения на электродах для расстояний между сетками 1 и 5 см. Зависимости нормированы на полное число ионов, образующихся на треке альфа-частицы. При увеличении напряжения эффективность выхода аэроионов из зазора между сетками асимптотически стремится к константе. Величина этой константы определяется, в основном, геометрическим фактором размещения фокусирующих электродов, так как область между электродами и водяной пленкой является мертвой зоной, из которой ионы не могут выйти наружу.

Для широкого зазора эти потери составляют всего несколько процентов, а для зазора 1 см предельно достижимое значение эффективности находится на уровне $\sim 50\%$. Процессы рекомбинации при выбранной геометрии детекторного блока дают незначительное вклад в потери аэроионов при транспортировке.

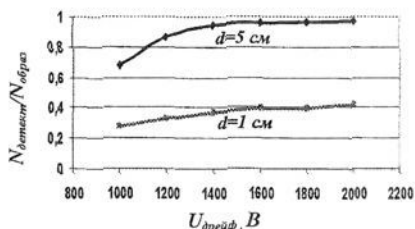


Рис.6. Доля ионов, дошедших до детектора от полного числа ионов образовавшихся на треке альфа-частицы, в зависимости от напряжения на транспортных электродах.

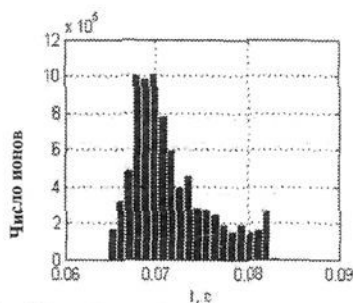


Рис.7. Распределение аэроионов образованных одной альфа-частицей по времени прихода на анод ГРС.

Модель позволяет отслеживать влияние изменений конфигурации поля на величину ионного потока, проходящего через сеточный катод газоразрядного счетчика. Этот поток определяет величину токового импульса на выходе детектора. На рис.7 изображена типичная временная зависимость прихода

аэроионов на катод детектора для альфа частицы с энергией 3 МэВ вылетающей перпендикулярно поверхности пленки на расстоянии 10 см от детектора Форма этой зависимости существенно зависит от направления вылета альфа частицы, ее энергии, конфигурации фокусирующих электродов и величины транспортирующего потенциала

Расчеты, выполненные в рамках данной модели, позволили определить оптимальные толщину пленки, ширину промежутка между сетками, и распределение потенциалов вдоль системы транспортировочных электродов, позволяющие получить эффективность регистрации альфа частиц $\sim 20\%$

В ПЯТОЙ ГЛАВЕ рассмотрена система сбора и анализа измеряемых данных необходимая для эффективного функционирования аэроионного детектора в автономном режиме Основой этой системы является электронный блок управления Блок управления предназначен для приема, обработки, индикации и накопления информации, полученной с детекторов и вспомогательных датчиков прибора, а также для передачи накопленной информации на ЭВМ В данной главе были определены функции блока управления, и была показана возможность его разработки на основе микроконтроллера Для разработки блока управления аэроионного детектора изучена структура микроконтроллера ATmega- 128 L фирмы ATMEL и основы его программирования на ассемблере, составлен набор требований к системе управления аэроионным детектором Кроме того, была разработана схема алгоритма управления прибором, на основе которой разработано программно-математическое обеспечение для управления прибором

ШЕСТАЯ ГЛАВА посвящена экспериментальному исследованию метода смачиваемых сеток Была разработана и изготовлена лабораторная установка, с помощью которой приводилось изучение предложенной схемы определения объемной активности водного образца, содержащего альфа радиоактивный изотоп

В процессе изучения метода смачиваемых сеток исследовались различные способы транспортировки и собирания ионов, возникающих на следах альфа-частиц, вышедших из слоя воды, покрывающей сетку Кроме того, исследовались различные типы сеток, предназначенных для собирания и удержания исследуемой

жидкости В процессе работы неоднократно модифицировался газоразрядный счетчик аэроионов с целью повышения эффективности регистрации ионов при различных условиях сбора ионного заряда

Экспериментальная установка включает в себя собственно модель детекторного блока и измерительный тракт (рис 8)

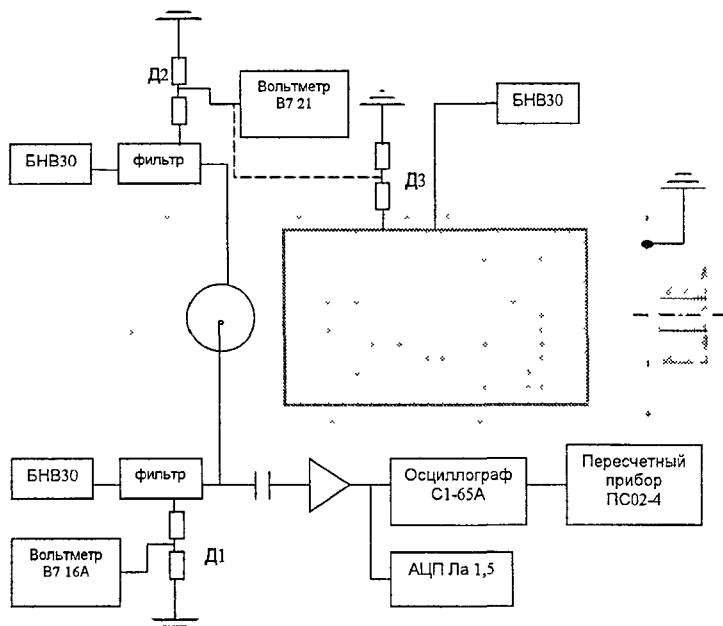


Рис 8 Экспериментальная установка

Детекторный блок собран в экранированном алюминиевой фольгой корпусе. Фольга толщиной **50 мкм** размещалась на внешней и внутренней поверхностях корпуса. Двойное экранирование позволило существенно снизить уровень электромагнитных наводок. Внутри корпуса находится газоразрядный проволочный счетчик ионов, открытый на воздух, и дрейфовая камера, в которую помещен измеряемый образец в виде смоченной в воде сетки.

Конструкция счетчика изображена на рис 9. Цилиндрический катод выполнен из алюминия. Он имеет внутренний диаметр – **20 мм**, длину **100 мм**. В нем сделаны отверстия диаметром **4 мм**, ориентированные в направлении потока

аэроионов. Анод представляет собой вольфрамовую проволочку диаметром 30 мкм , покрытую слоем золота, натянутую вдоль оси цилиндрического катода.

С помощью вентилятора встречного потока в рабочем объеме счетчика создается избыточное давление, препятствующее проникновению в рабочий объем заряженных частиц аэрозоля. Вентилятор встречного потока оборудован механическим и электростатическим фильтрами.

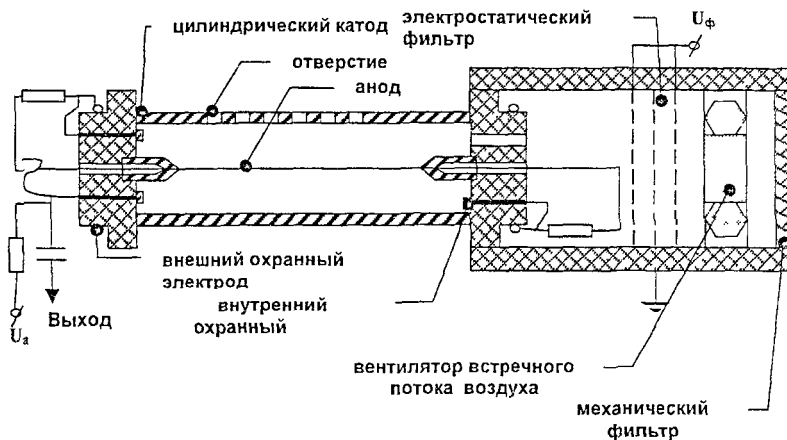


Рис 9 Газоразрядный счетчик

Для исключения фона, связанного с токами утечки, в счетчике предусмотрены внутренний и внешний охранные электроды. Охранные электроды поддерживаются при анодном напряжении, которое подается через резисторы $R_{01}=1 \text{ МОм}$. Анодное напряжение на счетчик подается через резистор 100 МОм .

Вторым компонентом детекторного блока являлась камера, в которой размещалась система транспортных электродов, сетки для отбора пробы воды и альфа-источник, моделирующий ионизационный эффект, создаваемый альфа-частицами вблизи поверхности сеток.

В измерительный тракт (рис 8) входят проволочный газоразрядный счетчик, осциллограф, вольтметр, пересчетный прибор и усилитель. Импульсы напряжения с анода подаются на вход предусилителя через размещенный на

изоляторе керамический конденсатор $C = 100 \text{ нФ}$, потом поступают к усилителю (БУС2-97) и дальше поступают к осциллографу (С1_65А) и счетному прибору (ПСО2_4) Чтобы проводить регулировку питания, выводы от блока высоковольтного питания соединены с вольтметрами

Работа проводилась в два этапа Первый этап исследования был посвящен изучению возможности обнаружения альфа активных примесей в воде методом смачиваемых сеток при переносе ионизации в рабочий объем детектора с помощью электростатического поля Результаты проведенных экспериментов показали, что при наличии воды на сетках возникают сильные искажения дрейфового поля, для компенсации которых требуется применение системы дрейфовых электродов Использование системы электродов приводит к значительному усложнению конструкции детектора, что затрудняет его практическую реализацию Поэтому на втором этапе была исследована другая конструктивная схема, где перенос ионов в рабочем объеме счетчика осуществлялся с помощью воздушного потока, создаваемого вентилятором Этот способ транспортировки дает более надежные и стабильные результаты, хотя увеличивает габариты и энергоемкость детекторного модуля На этом этапе исследований сетки из диэлектрического материала были заменены на металлические

На описанном стенде были проведены калибровочные измерения с использованием образцового альфа-источника, а также тестовые измерения объемной радиоактивности раствора, содержащего альфа активный нуклид U^{238} . В качестве модельного раствора использовались водные растворы уранил нитрата $UO_2(NO_3)_2$ различной концентрации в диапазоне от 3 3 до 50 мг/мл по урану

Контроль стабильности регистрирующего тракта производился с помощью образцового альфа-источника с известной активностью Перед каждым рабочим измерением измерялся счет от образцового источника и в качестве показателя активности исследуемого образца бралось отношение счета от образца к счету от альфа-источника Нормировка на образцовый источник позволяла учесть флуктуации эффективности детектора, связанные с локальными изменениями давления, температуры, влажности и т д

С помощью этой методики была измерена зависимость показаний детектора от концентрации альфа активного препарата в исследуемом растворе. Результаты измерений с вычетом фона приведены на рис 10

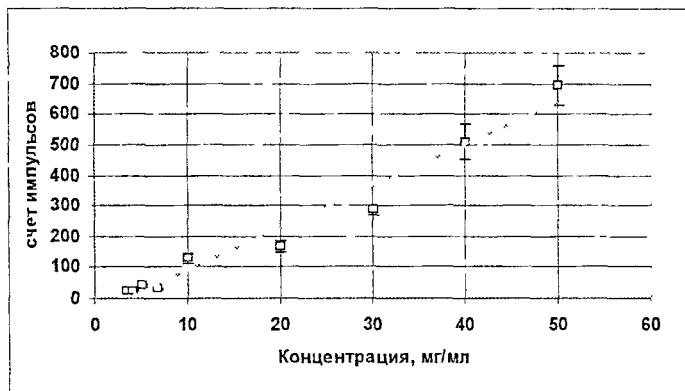


Рис 10 Зависимость счёта импульсов счётчика аэроионов от концентраций раствора $UO_2(NO_3)_2$.

На основе полученных данных была определена минимально обнаружимая объёмная активность для детектора, состоящего из одного сеточного элемента площадью около 100 см^2 . При суммарном времени измерения около 1 мин она была на уровне $\sim 10^4 \text{ Бк/л}$. Это свидетельствует о том, что с помощью аэроионного детектора может быть обнаружено альфа радиоактивное загрязнение воды и даже маленький одноэлементный аэроионный детектор может служить индикатором альфа излучения в случае аварии. Если увеличить число сеток до 100 , а площадь одной сетки до 1000 см^2 при сохранении эффективности регистрации, то можно обнаруживать радиоактивность на уровне $\sim 10 \text{ Бк/л}$. Габариты измерительного модуля при этом составят $50 \times 50 \times 20 \text{ см}$.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертации предложен и исследован метод измерения объёмной альфа активности воды в реальных атмосферных условиях и в реальном масштабе времени на основе аэроионного способа регистрации альфа излучения.

В результате выполнения работы

1. Разработана общая схема реализации методики радиометрии альфа частиц в жидкости на основе аэроионного способа.

- Проведен сравнительный анализ различных способов к регистрации альфа излучения в жидких средах
 - Определены возможные способы регистрации альфа частиц в воде с помощью аэроионного детектора
 - Произведена оценка эксплуатационных параметров (чувствительность, время измерения, габаритные и весовые характеристики) аэроионного детектора для альфа мониторинга воды
- 2 Разработана математическая модель процесса регистрации альфа частиц и методика выбора оптимальных параметров аэроионного детектора для воды с помощью построенной модели
- Проведена оптимизация геометрических и электрических параметров измерительного блока для варианта детектора, основанного на методе смачиваемых сеток с электростатической транспортировкой аэроионов
 - Расчеты, выполненные в рамках данной модели, позволили определить оптимальную толщину пленки воды порядка *100 мкм*, ширину промежутка между сетками около *0,5 см*, эффективность детекторного блока при выбранных параметрах составит примерно *20 %*
- 3 Предложен вариант реализации блока управления для измерений объемной активности аэроионным методом
- Составлен набор требований к системе управления аэроионным детектором
 - Разработана блок схема программы управления
 - Собраны на базе AVR микроконтроллера Atmega128L и протестированы основные функциональные элементы блока управления ,
- 4 Разработана конструкция и изготовлен экспериментальный стенд для проверки метода определения объемной активности воды, основанного на смачивании сеток
- 5 Исследованы возможности аэроионного способа измерения объемной активности воды и обоснована перспективность его применения для технологического и экологического мониторинга альфа радиоактивного загрязнения

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- 1 **Ньян Вин, Дубов Л.Ю., Мирошниченко В.П.** Альфа радиометрия жидкости с помощью аэроионного детектора Научная сессия МИФИ-2005 , том 5, стр 45 – 46
- 2 **Ньян Вин, Дубов Л.Ю.** Система сбора данных с детектора альфа-частиц на базе микроконтроллера фирмы ATMEL (ATMEGA 128L) Научная сессия МИФИ-2006 , том 5, стр 35 – 36
- 3 **Дубов Л.Ю., Мирошниченко В.П., Ньян Вин** Методика альфа-радиометрии жидкости на основе аэроионного детектора Инженерная Физика № 4, 2005 , стр 2 – 5
- 4 **Дубов Л.Ю., Мирошниченко В.П., Ньян Вин** Методы измерения альфа-радиоактивности воды на основе аэроионного детектора Научная сессия МИФИ-2007 , том 5, стр 38 – 39
- 5 **Ньян Вин, Дубов Л.Ю.** Моделирование альфа-радиометра для воды методом Монте-Карло Научная сессия МИФИ-2007 , том 5, стр 40 – 41
- 6 **Дубов Л.Ю., Мирошниченко В.П., Ньян Вин** Пробоподготовка жидкости для аэроионной альфа-радиометрии Инженерная Физика № 1, 2007 , стр 59 – 63

Статьи сданы в печать

- 1 **Дубов Л.Ю., Мирошниченко В.П., Ньян Вин** Новый метод контроля альфа-радиоактивного загрязнения воды на основе аэроионного детектора Экологические системы и приборы 2006
- 2 **Беляев В.Н., Дубов Л.Ю., Мирошниченко В.П., Ньян Вин** Моделирование физических процессов в измерительном блоке аэроионного альфа-радиометра для воды Ядерные измерительно-информационные технологии 2007

Подписано в печать 19 04 2007 г
Исполнено 20 04 2007 г
Печать трафаретная

Заказ № 393
Тираж 75 экз

Типография «11-й ФОРМАТ»
ИНН 7726330900
115230, Москва, Варшавское ш , 36
(495) 975-78-56
www.autoreferat.ru