

МОСКОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ТОНКИХ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

На правах рукописи

Писаненко Сергей Сергеевич

**Методические основы и инструменты обработки
информации об активности радионуклидов в пробах
испытательной лаборатории радиационного контроля**

05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации
(химическая технология)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

*Научный руководитель
д.т.н., профессор, Р.Е. Кузин*

Москва 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. «СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ И ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ»	11
1.1. Общая характеристика современных методов и алгоритмов обработки больших массивов специальных экспериментальных данных.....	11
1.2. Роль ИЛРК в принятии решений по оценке радиационной безопасности объектов контроля	16
1.3. Основные источники проб для испытательной лаборатории радиационного контроля ...	17
1.4. Оснащенность испытательной лаборатории радиационного контроля аттестованными методиками выполнения измерений.	18
1.5. Аппаратурно-техническое обеспечение ИЛРК средствами измерений.	23
1.5.1. Типы и характеристики детекторов.....	25
1.5.2. Защита детекторов.....	41
1.6. Системный анализ «узких мест» в сложных процессах обработки информации ИЛРК ...	46
1.7. Выводы.....	48
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ АЛГОРИТМОВ И ПРОЦЕДУР ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ.....	50
2.1. Информационно-технологические процессы обработки информации в ИЛРК как объекта системного анализа	51
2.2. Функциональная модель информационной системы ИЛРК в нотациях IDEF0 и DFD.	54
2.3. Разработка модели базы данных информационной системы	59
2.4. Обоснование выбора СУБД для информационной системы	65
2.5. Выводы.....	68
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АТТЕСТОВАННЫХ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЙ.....	70
3.1. Структурная модель операций в методиках выполнения измерений	71
3.2. Алгоритм обработки данных радиационного контроля в программном обеспечении спектрометрических средств измерений.	72
3.3. Формализация расчета активностей радионуклидов в низкоактивных пробах.....	74
3.4. Разработка алгоритма обработки данных в измерениях низкоактивных проб.....	75
3.5. Выводы.....	78
ГЛАВА 4. «РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ АО «ВНИИХТ».....	79
4.1. Назначение и архитектура информационной системы.....	79
4.2. Серверные приложения.	81
4.3. Специальное программное обеспечение для обработки информации в α , β и γ -измерениях	83
4.4. Программа обработки данных радиационного анализа	90
4.5. Краткая характеристика результатов практического использования информационной системы	96
4.6. Выводы.....	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	100
ГЛОССАРИЙ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ И ПОНЯТИЙ.....	101
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	102
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	103

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Фрагмент кода основных окон программы обработки данных радиационного контроля.....	111
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Фрагмент кода программы для расчета активностей и погрешностей определяемых радионуклидов для альфа и бета измерений	114
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Справка о практическом применении результатов научных исследований ...	119

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Радиационная безопасность – это один из важнейших факторов обеспечения национальной безопасности. В настоящее время разработан научно-обоснованный и нормативно регламентированный комплекс мероприятий по обеспечению защиты человека и объектов окружающей среды от воздействия ионизирующих излучений как естественного, так и техногенного характера. В России действует ряд Федеральных законов, санитарных норм и правил, которые устанавливают нормативы для создания безопасных условий применения атомной энергии и радиационных источников в различных сферах деятельности человека [24-26].

Важнейшими задачами Государственной Корпорации по атомной энергии «Росатом» являются создание новых объектов атомной энергетики, реабилитация территорий, загрязненных в период работ по созданию «ядерного щита» бывшего СССР. Ещё на стадии исследования и разработки новых технологических решений требуется обеспечение высокоэффективных мероприятий по обеспечению радиационной безопасности объектов окружающей среды [1, 50].

В Российской Федерации государственным балансом природных ресурсов учтены запасы 38 разведанных урановорудных месторождений, среди которых выделяются запасы Эльконского и Ергенинского урановорудных районов. Для промышленного освоения бедных урановых месторождений необходима разработка системного подхода к переработке руд на основе исследования современных химических технологий, обеспечивающих конкурентоспособность готовой продукции и их рентабельность, соблюдение современных требований по защите окружающей среды [49]. Разработка урановых месторождений, кроме готовой продукции, объективно сопровождается образованием огромного количества радиоактивных отходов (РАО), что имеет особенно важное значение в связи с проведением в России года «Экологии - 2017». Только на Эльконском горно-металлургическом комбинате будет ежегодно сбрасываться в хвостохранилище около $3 \cdot 10^{14}$ Бк долгоживущих естественных радионуклидов (^{230}Th , ^{226}Ra и др.) [47, 52].

В результате технологических процессов добычи урановых руд и их обогащения, эксплуатации объектов атомной промышленности, переработки облучённого ядерного топлива, использования источников радиоактивного излучения в различных сферах человеческой деятельности к настоящему времени образовалось значительное количество РАО, которые представляют опасность для объектов биосферы из-за их радиационного и токсического воздействия [31, 46, 51].

При выполнении инженерно-изыскательских работ, предшествующих разработке проектов реабилитации территорий, на этапах освоения урановорудных районов, при обращении с РАО основную роль уделяют определению радионуклидного состава и измерениям радиационной активности проб в различных агрегатных состояниях. Во исполнение законов РФ «Об охране окружающей среды» и «Об атомной энергии» также требуется определять радионуклидный состав проб образцов в крупномасштабных исследованиях по радиационному мониторингу санитарно-защитных зон, промплощадок и прилегающих территорий предприятий.

Измерением радиационной активности и определением радионуклидного состава проб в различных агрегатных состояниях в Российской Федерации занимаются специализированные испытательные лаборатории радиационного контроля (ИЛРК), аккредитованные органами Федеральной службой по аккредитации и независимыми органами госкорпорации «Росатом» согласно законодательству. Испытательная лаборатория радиационного контроля АО «Ведущего научно-исследовательского института химической технологии» (ИЛРК АО «ВНИИХТ») аккредитована государственными органами с 2001 года и является типовой среди ведущих ИЛРК нашей страны [35].

В компетентность ИЛРК АО «ВНИИХТ» входит определение радиоактивности элементов гидросферы, атмосферы, сточных вод, литосферы, отходов производства и технологических материалов. При измерении радиационной активности проб используются альфа-спектрометрический, гамма-спектрометрический и радиометрический методы, с предварительной

радиохимической пробоподготовкой. При выполнении этих исследований основным трудоемким аспектом является обработка огромных массивов информации большого потока разнообразных по составу и происхождению проб, и, вследствие этого, длительная обработка полученных данных.

До 2012 года в информационной системе ИЛРК АО «ВНИИХТ» основные массивы информации хранились в рабочих журналах и результаты обрабатывались вручную, в связи с этим эффективность работы ИС ИЛРК была невысокая при существенной роли человеческого фактора. С 2013 года в ИЛРК при непосредственном участии соискателя проводится разработка и поэтапное внедрение автоматизированной информационной системы на основе методологии системного подхода и новых инструментов обработки информации [34].

Актуальность и важность решаемой в диссертации новой научной задачи определяется широкой распространенностью ИЛРК в химической, металлургической, урановой, нефтехимической и других отраслях промышленности как типовых лабораторий.

Степень разработанности темы исследования.

Применение системного подхода к созданию информационных систем сбора, хранения и обработки информации в области химической технологии было развито в работах профессоров Л.А. Бахвалова, А.Ф. Егорова, В.Ф. Корнюшко, А.В. Кострова, Т.В. Савицкой, И.О. Тёмкина, Г.Ф. Филаретова. Ряд задач обработки информации в лабораториях радиационного контроля химико-технологических и горно-химических предприятий атомно-промышленного комплекса исследован в работах Р.Е. Кузина, К.Ю. Колыбанова, А.И. Соболева, Т.Н. Таирова, М.С. Медведкова, О.В. Кожина. Непрерывное и стремительное развитие информационных технологий, постоянное техническое переоснащение ИЛРК выдвигают новые и сложные научные задачи обработки информации при контроле радиоактивности на основе новых методик и инструментов.

В диссертации на основе обобщения опубликованных научных работ и собственных экспериментальных исследований автором получены новые научно-обоснованные программно-технические решения по инструментам и

методическим основам обработки информации об активности радионуклидов в пробах испытательной лаборатории радиационного контроля, реализация которых вносит значительный вклад в экономическое развитие, повышение экологической безопасности и обороноспособности Российской Федерации.

Цель диссертационной работы: повышение эффективности обработки больших массивов разнородной информации с обеспечением необходимой точности и единства измерений ИЛРК АО «ВНИИХТ» на основе использования методологии системного подхода и оригинальных инструментов обработки информации в соответствии с принятым в РФ нормативно-методическим обеспечением.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

- Системный анализ процессов обработки информации в ИЛРК АО «ВНИИХТ»;
- Системный анализ существующих средств и методик радиационного контроля ИЛРК АО «ВНИИХТ»;
- Разработка модели базы данных ИС ИЛРК;
- Разработка и программная реализация алгоритмов обработки информации в ИС ИЛРК на основе методик выполнения измерений по определению активности радионуклидов в счетных образцах;
- Разработка современного аппаратно-программного комплекса ИС ИЛРК АО «ВНИИХТ».

Объект исследования: информационные потоки больших массивов данных в типовой лаборатории радиационного контроля АО «ВНИИХТ».

Предмет исследования: средства и инструменты обработки информации в системе радиационного контроля для обеспечения высокой эффективности, повышения точности, единства измерений сбора, хранения, обработки и анализа большого потока информации ИЛРК АО «ВНИИХТ».

Научная новизна определяется совокупностью следующих наиболее существенных научных результатов, полученных лично соискателем:

1. Разработана структура автоматизированной системы обработки информации в ИЛРК АО «ВНИИХТ», отличающаяся тем, что на основе современных технологий «расшиты узкие места» процессов обработки информации, обусловленные наличием большого числа регистрационных журналов и отсутствием общей структуры хранения данных.

2. Разработана совокупность информационных моделей процессов хранения и обработки больших массивов данных в ИС ИЛРК, отличающихся отображением структуры и содержанием информационных потоков, а также режимов функционирования автоматизированной системы радиационного контроля.

3. Разработана модель базы данных единого хранилища информации с описаниями технологий радиационного контроля в среде разработки Microsoft Visual Studio 2010.

4. Разработан алгоритм обработки данных с использованием аттестованных методик, отличающийся тем, что позволяет определять активности в низкоактивных проб с предварительной радиохимической подготовкой.

5. Разработано специальное программное обеспечение для поддержки ввода и вывода данных в БД на каждом этапе обработки информации (для упрощения работы персонала лаборатории с БД), а также для расчета активностей радионуклидов и погрешностей в счетных образцах в среде разработки Microsoft Visual Studio 2010 на объектно-ориентированном языке C#, отличающееся тем, что реализует предложенный автором алгоритм обработки результатов измерений.

Практическая значимость работы

1. Разработан современный аппаратно-программный комплекс, повышающий эффективность работы и обеспечивающий точность результатов измерений в испытательной лаборатории радиационного контроля.

2. Все разработки внедрены в опытно-промышленную эксплуатацию в составе ИЛРК АО «ВНИИХТ» в 2014 году и могут быть использованы для реализации аналогичных задач в типовых ИЛРК.

Методы исследования: Используются методы системного анализа (декомпозиция, формализация, классификация, моделирование), методика информационного функционального моделирования систем IDEF0, методология моделирования потоков данных DFD, методы проектирования баз данных IDEF1X с использованием структурированного языка запросов SQL, объектно-ориентированного языка C# в программной среде Microsoft Visual Studio 2010 [5, 38, 42, 56].

Положения, выносимые на защиту

1. Новая структура системы процессов обработки информации в ИЛРК АО «ВНИИХТ».

2. Совокупность информационных моделей процессов хранения и обработки данных в ИС ИЛРК, необходимых для поддержки функций системы и визуализации результатов измерений активностей.

3. Алгоритм обработки данных с использованием аттестованных методик, позволяющий определять активности в низкоактивных проб с предварительной радиохимической подготовкой.

4. Специальное программное обеспечение для поддержки ввода и вывода данных в БД на каждом этапе обработки информации (для упрощения работы персонала лаборатории с БД), модули расчета активностей радионуклидов и погрешностей в низкоактивных счетных образцах, реализующие алгоритмы обработки результатов измерений на основе аттестованных МВИ.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы представлены на международной научно-практической конференции «Стратегические аспекты управления экономикой в регионе» (Владимир, октябрь 2011); научно-технической конференции «5-ая юбилейная конференция молодых ученых и специалистов ОАО «ВНИИХТ», посвящённая 60-летию основания института», ВНИИХТ, Москва, 2011; XII международном совещании «Проблемы прикладной спектromетрии и радиометрии», Санкт Петербург, октябрь 2011; конференции

Североуральского региона «Эффективные информационные технологии»,
Березники, ноябрь 2011.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ для опубликования результатов диссертационных работ; 5 публикациях в сборниках трудов и тезисов докладов конференций и семинаров.

Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, глоссария основных терминов и понятий, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и трех приложений.

ГЛАВА 1. «СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ И ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ»

В данной главе рассмотрены современные подходы к построению информационных систем по сбору, хранению и обработке данных для предприятий химического профиля, подходы по обработке больших массивов специальных экспериментальных данных по радиационному анализу, а также нормативно-правовая документация в сфере обеспечения единства измерений данной области исследования, определена роль типовой исследовательской лаборатории радиационного контроля в принятии решений по оценке радиационной безопасности объектов анализа, проведен системный анализ процессов и операций, используемых в обработке данных радиационного анализа, исследованы информационные потоки процессов обработки информации о пробах, поступающих в лабораторию, научно-технической части, определяющей эффективность и качество обработки информации, а также о выходных данных лаборатории с целью выявления научно-технических проблем информационной поддержки и процесса переработки информации.

1.1. Общая характеристика современных методов и алгоритмов обработки больших массивов специальных экспериментальных данных

При анализе методов и алгоритмов обработки больших массивов специальных экспериментальных данных, в первую очередь учитывались источники научно-технической литературы, в которых исследуются проблемы по созданию и применению информационных систем в химической промышленности. При этом также учитывались источники с общетеоретической точки зрения, в которых были проведены исследования метрологического характера и разработки специального программного обеспечения.

В диссертации проведены исследования по разработке информационных систем радиационного контроля на основе системного анализа и различных подходов к технологии хранения данных.

Применение системного подхода к созданию информационных систем по сбору, хранению и обработке данных для предприятий химического профиля было развито в работах Л.А. Бахвалова, И.Н. Дорохова, Л.С. Гордеева, А.Ф. Егорова, В.В. Кафарова, В.Ф. Корнюшко, В.П. Мешалкина, Р.Е. Кузина, А.А. Петрулевича, Т.В. Савицкой, А.В. Нетушила, П.Д. Саркисова, А.И. Соболева, Л.А. Серафимова, В.С. Тимофеева, Н.И. Федунец, В.В. Шаталова, Г.А. Ярыгина, В.И. Равиковича, К.Ю. Колыбанова, М.С. Медведкова, О.В. Кожина, В.А. Быковского.

На примере данных исследования, приведённых в работе Колыбанова К.Ю. [11], особо важным является обеспечения долговременного хранения полной информации о технологии получения каждого объекта исследования для подготовки управленческих решений при нарушении или угрозе нарушения условий эксплуатации на предприятиях химической промышленности. Современные информационные технологии хранилищ данных гарантируют надежную сохранность информации, преемственность при изменении форм носителей информации. В работе также рассматриваются методические вопросы ввода-вывода информации о химико-технологических характеристиках процессов производственного характера, предложена схема процессов обработки информации об объектах долгосрочного хранения.

В исследовательской работе Равиковича В.И. [40] характерно глубоко рассмотрена актуальность и важность экологического производственного мониторинга и проблемы в предприятиях химического профиля экологической безопасности. Разработан общий системный алгоритм построения информационных систем экологической безопасности и производственного экологического мониторинга. Формализованы критерии экологической безопасности и эффективности информационных систем производственного экологического мониторинга. Предложена совокупность работ по

промышленному внедрению методик, программных и технических средств информационных систем экологической безопасности и экологического мониторинга химического профиля.

Научное обобщение и анализ результатов исследовательских и технологических экспериментов, опытно-промышленных и промышленных испытаний методов обращения с РАО было опубликовано в работе Варлакова А.П. [4]. Особое внимание было уделено конструкции и составу экспериментального, опытно-промышленного и промышленного оборудования для реализации разработанных методов обращения с РАО, научно-техническому сопровождению, изготовлению, проведению испытаний и вводу в эксплуатацию.

В работе Кузнецова В.П. [15] на достаточно глубоком и фундаментальном уровне рассмотрены методы математической обработки измерительной информации, проведены исследования по разработке методов расчета погрешностей в практических задачах спектрометрии, предложена структура программного обеспечения и описание его функциональных блоков.

Для разработки моделей и алгоритмов, обеспечивающих процедур принятия решений по обработке, сбору и хранению больших массивов специальных экспериментальных данных, большой интерес представляет монография Медведкова М.С. [17]. В работе предложены методы и алгоритмы обработки информации об образовании, перемещении, накоплении и переработке РВ и РАО в информационно-аналитических центрах для поддержки принятия решений органами государственного управления.

Предложен комплекс информационных моделей технологических процессов типового кондиционирования радиоактивных отходов, включающий информационные модели технологических процессов, реляционную, иерархическую модели данных для хранилища данных, диаграммы потоков данных в информационной системе в работе Быковского В.А. [3] и помогающий понять основные принципы технологических процессов в смежных областях радиационной безопасности для построения информационных моделей процессов в области исследования данной работы.

В диссертации Кожина О.В. [10] предложен комплекс информационных моделей процессов обработки данных и проведен анализ информационных потоков в системе радиационного контроля предприятий химического профиля. Результаты работы имеют большое значение для анализа современных процессов обработки экспериментальных данных.

С точки зрения нормативно-правовой стороны метрологических требований, действующие документы [24-28] распространяются на измерения, средства измерений и их составные части, стандартные образцы, эталоны единиц величин, ПО, методики измерений, которые применяются в области использования атомной энергии.

Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации "Об утверждении Положения об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии", вступившем в силу 1 декабря 2013 г., приказу №1/10-НПА "Об утверждении метрологических требований к измерениям, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, их составным частям, ПО, методикам (методам) измерений, применяемым в области использования атомной энергии" от 31 октября 2013 г. была проделана большая работа по учету всех требований и изменений в вышеупомянутых нормативных правовых документах.

Новые требования распространяются на все результаты измерений, в том числе выполняемых при радиационном контроле, должны представляться с указанием характеристик погрешности, неопределенности измерений или показателей достоверности результата [27].

Что касается метрологических требований к стандартным образцам, в нашем случае аттестованным объектом являются радиационные источники. И при определении характеристик, геометрий и активностей стандартных образцов должна быть учтена специфика измерений, проводимых в перечне объектов контроля:

- определение понятия стабильности стандартных образцов (т.е. всех их изначальных характеристик) не только как неизменности аттестованного значения, но и как закономерного изменения во времени;

- нормирование метрологических характеристик стандартных образцов способами, соответствующими специфике их применения, т.е. подбор СО, соответствующего характеристикам объектов контроля для конкретных типов измерений.

Также в нормативное нововведение, что на этапе разработки автоматизированной системы, выполняющей функции измерений и контроля, включая измерительную систему, должна быть обеспечена:

- регламентирование диапазонов измеряемых величин, их номенклатуры, значений и требований к точности их измерений;

- регламентирование структуры ИС, её перечня и номенклатуры применяемых в составе средств измерений с указанием их технических и метрологических характеристик;

- регламентирование методов и алгоритмов обработки информации результатов измерений, выполняемой вычислительным модулем в ИС [53-55].

Не подлежат обязательной экспериментальной проверке расчетные значения характеристик погрешности ИС. При этом должен быть выполнен контроль метрологических характеристик всех компонентов ИС, проведена метрологическая экспертиза документации ИС, а также соблюдены нормы, которые используются как исходные данные при расчетах.

Требования к ПО средств измерений, в том числе информационно-измерительных, измерительных, автоматизированных систем, работающих с использованием средств измерений или составных частей измерительных систем, вычислительных блоков, контроллеров, не входящих в состав данных систем, а также устройств с измерительными функциями и технических систем, осуществляющих представление и обработку измерительной информации, применяемому в области использования атомной энергии, должны соответствовать требованиям, установленным в национальных стандартах.

Аттестация ПО является необходимой, если ПО метрологически значимо, то есть влияет на результаты измерений (осуществляют измерительное преобразование, влияет на точность измерений) и вклад ПО в суммарную погрешность измерений не был учтен в процессе экспериментальных исследований, комплексного компонента или методики (метода) измерений в рамках испытаний для целей утверждения типа ИС или аттестации методики (метода) измерений.

Если программы или алгоритмы, реализуемые вычислительным модулем, метрологически значимы и их свойства не были оценены в процессе экспериментальных исследований для целей утверждения типа ИС в рамках испытаний (в том числе при наличии метрологически значимых частей в ПО - более сложных структур (систем), в которые входит данная ИС), или предусмотрена возможность модификации метрологически значимой части (влияющей на результаты измерений) этих программ, либо алгоритмов в процессе использования ИС, то необходимо проведение их аттестации отделом метрологии организации, либо независимыми аккредитованными экспертами.

1.2. Роль ИЛРК в принятии решений по оценке радиационной безопасности объектов контроля

Основная роль ИЛРК в подготовке решений по оценке радиационной безопасности объектов анализа заключается в проведении измерений радиационной активности и определение радионуклидного состава проб в различных агрегатных состояниях. В перечень объектов измерений и контролируемых в них показателей ИЛРК АО «ВНИИХТ», в качестве типовой лаборатории, входит радиационный контроль элементов атмосферных осадков, подземные, ливневые и поверхностные воды, донные отложения, литосферы, строительных материалов, сточных вод, минерального сырья, удобрений, твердых и жидких технологических материалов, отходов производства и готовой

продукции методами инструментального гамма-спектрометрического и радиометрического анализа.

ИЛРК АО «ВНИИХТ» имеет 50-ти летний опыт в сфере радиационного мониторинга, но с введением новых регламентирующих документов в сфере обеспечения единства измерений и с быстрым совершенствованием аппаратного сегмента и ПО проделана существенная работа по созданию современной структуры системы обработки информации ИС ИЛРК на основе системного подхода и ИТ.

1.3. Основные источники проб для испытательной лаборатории радиационного контроля

Основным источником радиоактивных проб, поступающих в лабораторию радиационного контроля, являются предприятия ядерного топливного цикла (ЯТЦ) ГК «Росатом»:

- ПАО «Машиностроительный завод» (г. Электросталь);
- Завод минеральных удобрений КЧХК (г. Кирово-Чепецк);
- АО «ВНИПИпромтехнологии»
- АО «ВНИИХТ – более 10 технологических подразделений.



Рисунок 1. Источники радиоактивных проб, поступающих в ИЛРК

Также существуют отдельные заказы на проведение экологического мониторинга промышленных площадок различных организаций и др.

На Рисунке 1 показаны источники радиоактивных проб, поступающих в ИЛРК, имеющие различную природу происхождения [32].

Природные радионуклиды можно разделить на две большие категории - первичные, которые возникли вместе со стабильным веществом Земли, и космогенные, которые возникают всё время в результате реакций ядерного характера под воздействием космического излучения или поступают со внеземным веществом.

Три первичных радионуклида – U-238, U-235 и Th-232 - являются первичными нестабильными изотопами в естественных радиоактивных рядах. С течением времени в естественных радиоактивных рядах установилось состояние, в котором радиоактивности всех членов ряда равны между собой, которое называется вековое равновесие. Если период полураспада материнского радионуклида велик по сравнению с периодом полураспада дочернего, то устанавливается вековое равновесие между радионуклидами. В окружающую среду искусственные радионуклиды поступают в результате ядерных взрывов, проводившихся в мирных целях, а также деятельности предприятий ЯТЦ [43, 48, 50].

1.4. Оснащенность испытательной лаборатории радиационного контроля аттестованными методиками выполнения измерений.

При измерении радиационной активности в ИЛРК используются инструментальный гамма-спектрометрический и радиометрический методы, с предварительной пробоподготовкой счетных образцов радиохимическим путем. Лаборатория имеет ряд аттестованных методик выполнения измерений (МВИ) [18-23]:

- МВИ удельной (объемной) активности гамма-излучающих нуклидов в счетных образцах, свидетельство № 61/10, ФГУП “ВНИИМ им. Д.И. Менделеева”;
- МВИ удельной (объемной) активности нуклидов плутония в пробах окружающей и технологических сред, свидетельство № 60/10, ФГУП “ВНИИМ им. Д.И. Менделеева”;

- МВИ удельной (объемной) активности урана-234, урана-235, урана-238 в пробах урановых материалов и объектах окружающей среды, свидетельство № 1829/08, ФГУП “ВНИИМ им. Д.И. Менделеева”;
- МВИ удельной (объемной) активности свинца-210 и полония-210 в пробах урановых материалов и объектах окружающей среды, свидетельство № 109/210, ФГУП “ВНИИМ им. Д.И. Менделеева”;
- МВИ удельной (объемной) активности стронция-90 в пробах окружающей среды, свидетельство № 234/210, ФГУП “ВНИИМ им. Д.И. Менделеева”;
- МВИ удельной (объемной) активности изотопов тория-230,-232 и-228 в пробах урановых материалов и окружающей среды, свидетельство № 233/210, ФГУП “ВНИИМ им. Д.И. Менделеева”;
- МВИ удельной (объемной) активности бета-излучающих радионуклидов в питьевой воде, воде водоисточника, природных и технических водах, свидетельство № 2052/09, ФГУП “ВНИИМ им. Д.И. Менделеева”;
- ИЛРК определяет суммарную удельную альфа-активность радионуклидов в питьевой воде на основании ГОСТ 31864-2012 [6].

В зависимости от поставленного технического условия заказчиком используются как несколько методов, так и только гамма-спектрометрический метод (далее ГС метод). ГС метод определяет активность всех гамма излучающих радионуклидов в измеряемом образце, но поскольку в методе порог детектируемой активности на всем энергетическом диапазоне намного выше, чем в измерениях с предварительной радиохимической подготовкой, часто используют совместные измерения.

При использовании радиохимического метода происходит химическое выделение определенного радионуклида по утвержденным методикам, позволяющее отделить его от других радионуклидов и примесей, которые могут исказить результаты расчетов. Измерения радиоактивности с предварительной радиохимической подготовкой превосходят по чувствительности все другие методы и поэтому его использование при анализе проб экологического мониторинга просто незаменимо [7, 9].

В Таблице № 1 приведены диапазоны измерений в МВИ с предварительной радиохимической пробоподготовкой счетных образцов и последующих измерений на альфа спектрометрах и радиометрическом оборудовании:

Таблица 1. Диапазоны измерений на альфа спектрометрах и радиометре.

Вид пробы	Диапазон измерения	Доверительная погрешность, % (P=0.95)
U-234, -235, -238		
Твердые урановые материалы	200 - $2 \cdot 10^5$ Бк/г	не более 20
Жидкие урановые материалы	0,2 - 200 Бк/л	не более 20
Воды	0.04 - 200 Бк/л	не более 30
Почва, донные отложения	5 - $1 \cdot 10^5$ Бк/кг	не более 30
Минеральное сырье и продукты его переработки	5 - $1 \cdot 10^5$ Бк/кг	не более 30
Th-230, -232, -228		
Урановые материалы	0,1 – 30 Бк/г	не более 30
Воды	0.2 – 100 Бк/л	не более 30
Почвы, донные отложения	0.2 – 100 Бк/кг	не более 30
Pb-210		
Воды	0.07 - 200 Бк/л	не более 30
Почвы, донные отложения и рудные материалы	10 - $5 \cdot 10^5$ Бк/кг	не более 30
Технологические пробы	10 - $5 \cdot 10^5$ Бк/кг	не более 30
Po-210		
Воды	0.04 - 200 Бк/л	не более 30
Почвы, донные отложения и рудные материалы,	5 – $5 \cdot 10^5$ Бк/кг	не более 30
Технологические пробы	5 – $5 \cdot 10^5$ Бк/кг	не более 30
Pu-238, -239, -240		
Почвы, грунты, донные отложения и другие твердые материалы.	2 - 10000 Бк/кг	не более 30
Воды и жидкие технологические материалы	0.02 - 100 Бк/л	не более 30
Sr-90		
Почвы, грунты, донные отложения и другие твердые материалы.	10 - $1 \cdot 10^4$ Бк/кг	не более 30
Воды и жидкие технологические материалы	0.5 – 500 Бк/л	не более 30
$\Sigma\beta$		
Пробы водных сред	0.2 -1000 Бк/кг	не более 50
$\Sigma\alpha$		
Вода питьевая	0.05 – 400 Бк/кг	не более 50

Пробоподготовка состоит из ряда физико-механических и химических операций, применяемых в различных сочетаниях, позволяющих из отобранной пробы или ее части изготовить счетный образец. В зависимости от агрегатного состояния пробы производят операции измельчения, прокаливания, высушивания

до постоянного веса, озоления (твердые пробы), либо выпаривание (жидкие пробы).

Этапы подготовки пробы заключаются в том, что к измерениям в навеску или аликвоту, из которых готовится образец, вносят метку с известной активностью, после чего пробу подвергают обработке по методике радиохимического выделения. В результате получают счетный образец, представляющий собой диск из нержавеющей стали, на который электролитическим способом осажден интересующий нас элемент, а, следовательно, и его изотопы [8]. Приготовленный диск передают на измерение, сопровождая его протоколом, в котором указывают номер диска, наименование анализируемой пробы, массу навески, взятой на приготовление счетного образца, и активность ОРР, внесенного в пробу в качестве метки. Активность радионуклидов в приготовленном счетном образце рассчитывают, сравнивая величины скоростей счета в пиках излучения, учитывая при этом активность раствора внесенной метки.

В Таблице № 2 приведены диапазоны измерений в МВИ активности гамма-излучающих нуклидов в стандартной геометрии полиэтиленового флакона высокого давления с применением гамма спектрометра:

Таблица 2. Диапазоны измерений на гамма спектрометрах.

Радионуклид (энергия, кэВ)	Объем образца, см ³	Диапазон измерения, Бк	Погрешность, %
Cs-137 (662) Cs-134 (796) Co-60 (1332)	25	1 - 2.5	50-15
		свыше 2.5 - 4	30-15
		свыше 4 - 1000	20-15
Am-241 (60) Ru-103 (497) Pa-233 (312)	100	1 - 4	50-15
		свыше 4 - 6	30-15
		свыше 6 - 1000	20-15
Ra-226 (352)	25	2 - 3	50-15
		свыше 3 - 5	30-15
	100	свыше 5 - 1000	20-15
		3 - 4	50-15
		свыше 4 - 7	30-15

		свыше 7 - 1000	20-15
Th-228 (583) Zr-95+Nb-95 (757) Sb-125 (427) Ce-144 (134)	25	3 - 5 свыше 5 - 8 свыше 8 - 1000	50-15 30-15 20-15
	100	4 - 7 свыше 7 - 10 свыше 10 - 1000	50-15 30-15 20-15
Ac-228 (911) Ru-106 (622)	25	4 - 6 свыше 6 - 10 свыше 10 - 1000	50-15 30-15 20-15
	100	5 - 8 свыше 8 - 12 свыше 12 - 1000	50-15 30-15 20-15
K-40 (1460)	25	20 - 30 свыше 30 - 50 свыше 50 - 1000	50-15 30-15 20-15
	100	30 - 50 свыше 50 - 80 свыше 80 - 1000	50-15 30-15 20-15

МВИ устанавливает метод и алгоритм измерения удельной или объемной активности гамма-излучающих нуклидов с применением полупроводникового гамма-спектрометра в счетных образцах, изготовленных из проб объектов окружающей среды и технологических продуктов. Измерение активности гамма-излучающих нуклидов в пробах выполняется путем измерения числа импульсов в пиках полного поглощения нуклидов и последующего вычисления значения активности с учетом градуировки шкалы и эффективности спектрометра, полученных с помощью образцовых средств измерения, объемы и геометрия которых соответствуют объему и геометрии анализируемой пробы. Определение состава нуклидов выполняется по результатам сравнения табулированных значений энергий и квантовых выходов радионуклидов с данными спектра излучения пробы.

Не исключаемая систематическая погрешность обусловлена в основном погрешностью определения эффективности регистрации гамма-квантов, определяемой с помощью ПО по образцовым спектрометрическим мерам активности, Величины суммарной значения этой погрешности не превышают 15% (обычно в пределах 5-10%), в зависимости от вещественного состава, плотности анализируемых материалов и энергии гамма-излучения.

Значения активности радионуклидов в счетном образце и доверительные погрешности результатов измерения вычисляют автоматизированным способом (с применением прикладного ПО) по измеренным спектрам счетного образца и фона с использованием значений чувствительности регистрации спектрометра, определенной при его метрологической аттестации (поверке) для данной геометрии измерений. Результаты считывают непосредственно с монитора ПК спектрометра [18].

1.5. Аппаратурно-техническое обеспечение ИЛРК средствами измерений.

В лаборатории имеется комплекс приборов, предназначенных для α , β и γ -измерений – альфа и гамма спектрометры, счетное радиометрическое оборудование.

Альфа спектрометры – комплекс приборов, состоящих из альфа камер (СЭА-13П, Canberra 7401) с полупроводниковым детектором альфа частиц (Si), вакуумных систем, аналого-цифровых преобразователей, и ПК (Рисунок 2).

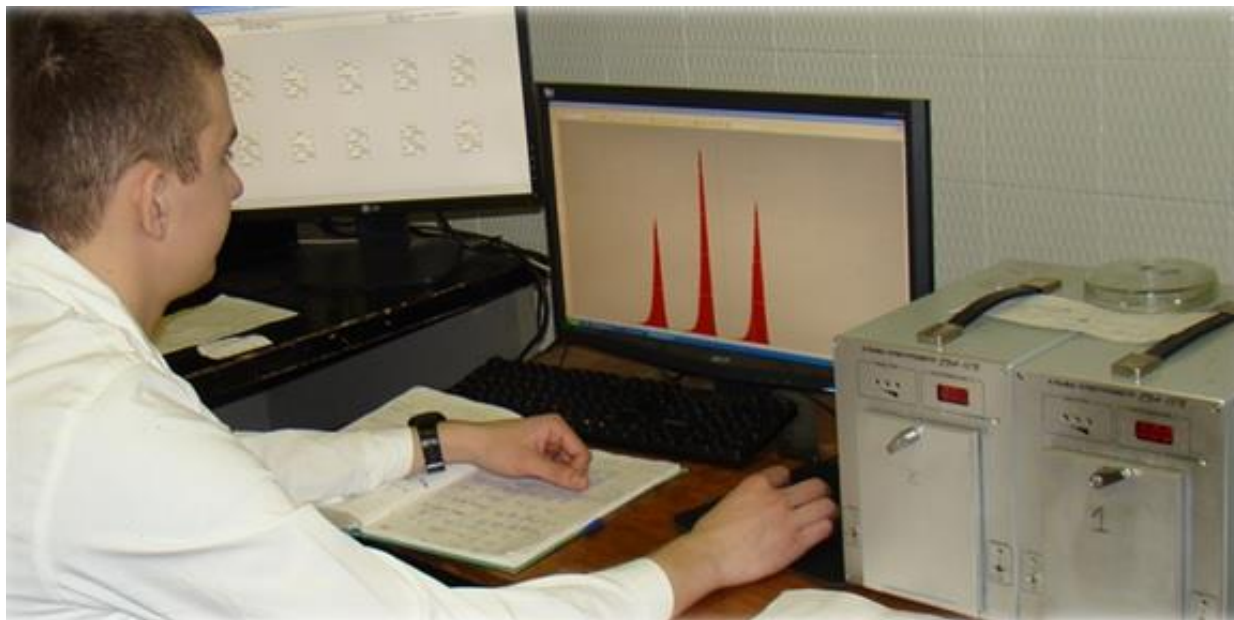


Рисунок 2. Альфа спектрометр СЭА-13П

Гамма спектрометры состоят из полупроводникового детектора (Ge, HPGe), криостата с жидким азотом для поддержания низкой температуры детектора,

свинцовой защиты для понижения естественного фона, блок высокого напряжения, предусилители, усилители, АЦП, ПК (Рисунок 3).

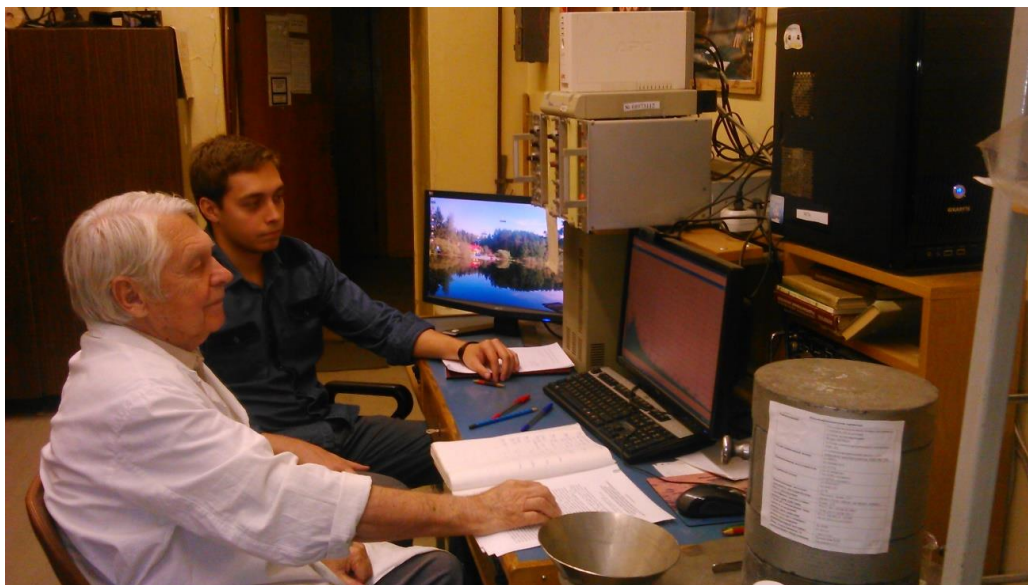


Рисунок 3. Гамма спектрометр BE2820

Альфа, бета радиометр представляет собой более простое устройство измерения радиоактивного излучения. LB-770 – низкофоновый, десятиканальный альфа- бета-радиометр, состоящий из камерного отсека закрытый свинцовой защитой, блока сравнения сигналов, АЦП, блока высокого напряжения, ПК (Рисунок 4).

Процедура измерения активности счетных образцов осуществляется с помощью СПО: SpectralineGP, SpectraLineADA, UMS.



Рисунок 4. Низкофоновый, десятиканальный альфа- бета-радиометр LB-770

1.5.1. Типы и характеристики детекторов

Для регистрации и спектрометрии гамма-излучения используют газонаполненные, сцинтилляционные и полупроводниковые детекторы. Эти детекторы сильно различаются по своим характеристикам и имеют разные области применения. Рассмотрим устройство и характеристики детекторов, наиболее часто используемых для гамма-спектрометрии.

В полупроводниковых детекторах (ППД) носителями электрических зарядов являются электроны и дырки, которые под действием электрического поля собираются на электродах. Эти детекторы имеют большую плотность вещества в чувствительном объеме, а значит, достаточно высокую эффективность. Другие достоинства ППД — линейная связь между амплитудой сигнала и энергией регистрируемого излучения, короткий фронт сигнала.

При выборе материала для ППД руководствуются следующими требованиями:

- малый расход энергии на создание пары носителей заряда. (Чем меньше расход энергии (ω), тем больше число образующихся носителей, больше величина сигнала и тем меньше относительная флуктуация величины сигнала, от которой зависит разрешающая способность аппаратуры. В ППД расход энергии на образование пары носителей в ~ 10 раз меньше, чем в газах, и в ~ 100 раз меньше, чем в сцинтилляционных детекторах);
- малая вероятность рекомбинации и захвата носителей заряда;
- близкие и большие носителей заряда по величине подвижности (чем выше их подвижность, тем лучше временные характеристики детектора; при условии подвижности дырок и электронов равны, амплитуда сигнала не будет зависеть от места образования носителей в объеме детектора);
- высокое удельное сопротивление (любой материал имеет некоторую электропроводность; при подаче напряжения на детектор возникает постоянный ток, величина которого флуктуирует; в результате появляется «шум» детектора, который размывает полезные сигналы; требуемое значение удельного сопротивления более 10^{10} Ом/см).

Всем перечисленным требованиям лучше всего удовлетворяют кристаллический кремний (Si) и германий (Ge). Так как их реальное удельные сопротивления ниже требуемых значений (у Si около 10^4 Ом/см, у Ge около 10 Ом/см), необходимо во много раз повысить удельное сопротивление этих материалов [45].

Согласно законам квантовой физики, в твердом теле энергия электронов не может быть случайной. При сближении атомов в одиночном атоме возникает атомно-электронное взаимодействие, приводящее к расщеплению уровней энергии и энергия электрона, принимает дискретные значения. В кристалле существуют зоны запрещенных и разрешенных энергий электронов вместо отдельных разрешенных значений энергии.

Электроны не взаимодействуют с соседними атомами с внутренних оболочек, для электронов с внешних оболочек вероятность взаимодействия больше, и ширина разрешенной зоны варьируется около 1 эВ. Электроны с энергиями в этой зоне принадлежат всему кристаллу.

Электроны в заполненных зонах при воздействии электрического поля на кристалл не изменяют своего распределения по энергиям, не дают вклада в электропроводимость и не участвуют в переносе заряда. Твердое тело частично заполненными разрешенными зонами является полупроводником, а со всеми заполненными — диэлектриком. Электроны при любой температуре могут под действием внешнего электрического поля участвовать в электропроводимости, поскольку у металлов зоны разрешенных значений энергии перекрываются.

После ухода электрона остается незаполненная «дырка», благодаря которой другие электроны получают возможность перемещаться под действием электрического поля, внося свой вклад в электрический ток. Если дырки и свободные электроны образуются только в результате тепловых переходов через запрещенную зону, то тело называют «идеальным» кристаллом и их число одинаково.

В реальных кристаллах имеются примеси и дефекты, а в запрещенной зоне существуют уровни, принадлежащие этим примесям и дефектам. Вероятность теплового перехода через запрещенную зону ниже вероятности переходов через эти уровни. Ионизация приводит к переходу электрона из нижележащей зоны на уровень «акцептор», либо к переводу электронов с уровня в зону проводимости «донор». Акцепторные уровни располагаются вблизи нижнего края запрещенной зоны, донорные — вблизи верхнего края. Полупроводники электронного типа или n-типа называются акцепторными (Рисунок 5)/

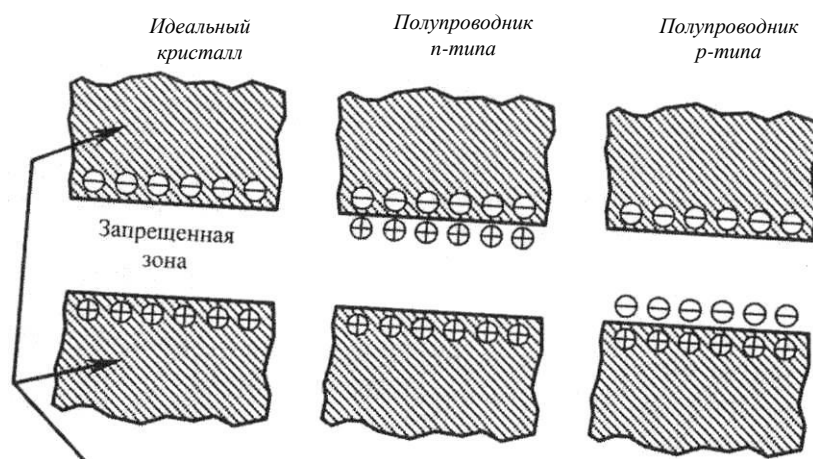


Рисунок 5. Типы полупроводниковых кристаллов

В любом реальном полупроводнике присутствуют и донорные, и акцепторные примеси, которые частично компенсируют друг друга. Ток, образуемый дрейфом носителей заряда под действием внешнего поля, определяет удельное сопротивление p-полупроводника:

$$\rho = \frac{1}{e \cdot (\mu^+ \cdot p + \mu^- \cdot n)} \quad (1.1)$$

где p — плотность дырок;

n — плотность электронов;

μ^+ — подвижность дырок;

μ^- — подвижность электронов.

Плотность носителей заряда зависит от температуры T и ширины запрещенной зоны \mathcal{E}_g :

$$N_i = b \cdot T^{3/2} \cdot e^{-\frac{\varepsilon_g}{2kT}} \quad (1.2)$$

где b — константа для данного материала;

k — постоянная Больцмана.

Плотность носителей определяется плотностью электронов и дырок:

$$n_i^2 = n \cdot p \quad (1.3)$$

Если плотность электронов увеличивается, то плотность дырок уменьшается. Минимальное число носителей обоих зарядов наблюдается при $n=p$, что соответствует случаю полностью скомпенсированного полупроводника, сопротивление которого такое же, как и у беспримесного. В реальных случаях кремний трудно очистить от бора, германий — от кислорода. Характеристики Si и Ge приведены в Таблице 5.

Таблица 3. Характеристики Si и Ge детекторов.

Элемент	Z	Плотность, г/см ³	Средняя энергия образования пары носителей (ω), эВ	Ширина запрещенной зоны, эВ	(T= 300 K), см ⁻³
Si	14	2,33	3,7	1,10	$1,5 \cdot 10^{10}$
Ge	32	5,33	3,0	0,67	$2,0 \cdot 10^{13}$

Даже охлаждая такие материалы до 77 К (температура жидкого азота), не удается получить необходимое высокое удельное сопротивление. Для того чтобы повысить их удельное сопротивление, используют свойства перехода между полупроводниками разных типов (или перехода между полупроводником и металлом). На Рисунке 6 показано формирование $p-n$ перехода в полупроводниковом кристалле.

Чувствительную область d (Рисунок 6, г) можно использовать для детектирования. Высокое удельное сопротивление соответствует почти полному отсутствию носителей в данной области. Приложив к переходу обратное напряжение можно увеличить размер области, (минус — к p -области, плюс — к n -области). В результате возрастет толщина слоя, обедненного носителями.

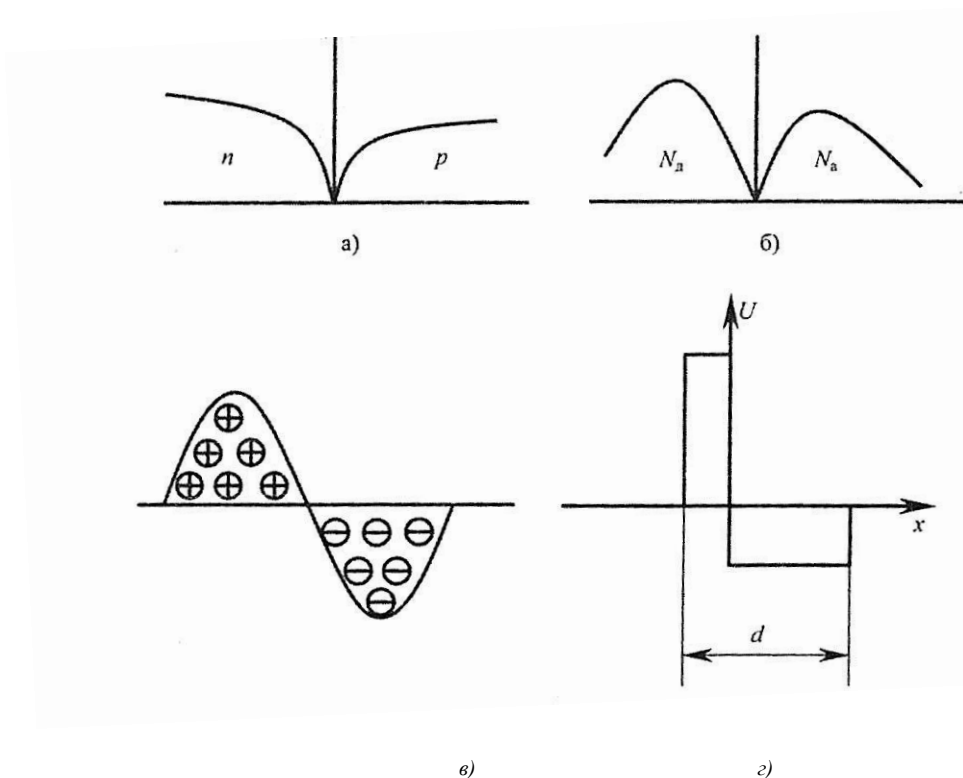


Рисунок 6. Формирование p-n перехода в полупроводниковом кристалле
a — концентрации электронов и дырок в приграничном слое (возникает диффузия носителей заряда в сторону их меньшей концентрации);
б — концентрация ионизированных атомов примесей (атомы доноров и акцепторов закреплены в кристаллической решетке и не могут двигаться);
в — распределение объемных зарядов по сторонам границы;
г — прекращение тока носителей после установления равновесия из-за появления на переходе разности потенциалов

При регистрации излучений или частиц с одинаковой энергией амплитуды сигналов имеют разброс из-за теплового шума, флуктуаций числа собранных носителей заряда и шума, создаваемого флуктуацией ограничивающей время жизни носителей. Можно выделить еще один процесс, ограничивающий разрешение ППД — это захват электронов и дырок. Вызванный флуктуацией скорости теплового движения носителей тепловой шум и шум обратного тока в высокой степени зависят от температуры детектора. Достичь предельного разрешения можно только охлаждением до температуры жидкого азота (Рисунок 7).

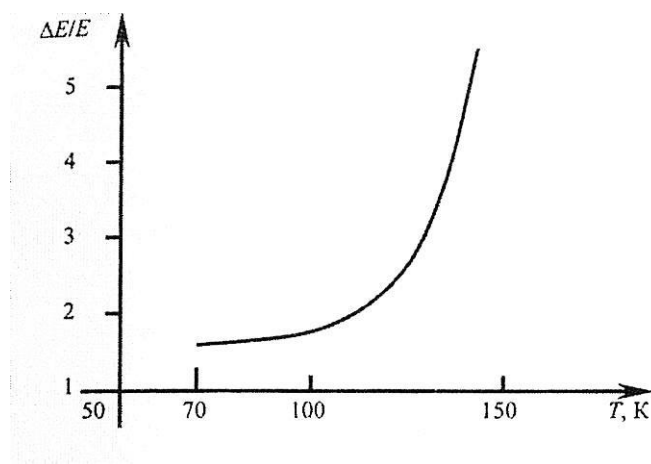


Рисунок 7. Зависимость энергетического разрешения ППД от температуры

Флуктуация числа собранных носителей заряда обусловлена тем, что их сбор не бывает полным, поскольку процесс рекомбинации ограничивается время жизни носителей. Еще один процесс, ограничивающий разрешение ППД, - захват электронов и дырок. В качестве характеристики разрешающей способности спектрометра используется ширина пика полного поглощения на половине его высоты — ПШПВ [2].

По методам образования переходов полупроводниковые детекторы подразделяются на поверхностно-барьерные, диффузионные и дрейфовые (*p-i-n* типа).

В *поверхностно-барьерных детекторах p-n* переход образуется за счет окисления протравленной поверхности полупроводникового материала *n*-типа, например, кремния, кислородом воздуха с образованием поверхностного *p*-слоя. На поверхность кристалла напыляют тонкий слой золота, служащий электродом. Толщина чувствительного к излучению слоя составляет $(2-5) \cdot 10^{-2}$ см, нерабочий (мертвый) слой золотой пленки на поверхности очень тонок (около $3 \cdot 10^{-6}$ см).

Поверхностно-барьерные детекторы работают при комнатной температуре. Их используют для регистрации и спектрометрии тяжелых заряженных частиц: α -частиц, осколков деления. Из-за малой толщины чувствительного слоя эти детекторы имеют большую емкость и, следовательно, невысокое разрешение, поскольку энергетический эквивалент их шума составляет десятки килоэлектронвольт.

В диффузионных детекторах $p-n$ переход получают путем диффузионного внедрения донорных или акцепторных атомов в тонкий поверхностный слой p - или n -полупроводника. Толщина чувствительного слоя диффузионных детекторов такого же порядка, что и поверхностно-барьерных. Они имеют то же применение.

Детекторы с $p-i-n$ переходом получают методом глубокого дрейфа лития. В кремниевых детекторах толщина чувствительного слоя составляет 0,5-1,0 см. Такие детекторы применяют для регистрации тяжелых заряженных частиц и электронов. Их основное достоинство - возможность работать без охлаждения. Энергетический эквивалент шума таких детекторов составляет несколько десятков килоэлектронвольт.

Германиевые детекторы с $p-i-n$ переходом применяют для спектрометрии гамма-излучения. Плоские (планарные) Ge(Li)-детекторы имеют объем до 10-20 см³. Коаксиальные (квазицилиндрические) Ge(Li)-детекторы изготавливают путем дрейфа лития от боковой поверхности цилиндрического образца к его оси. Их объем может достигать 100 см³ и более.

При комнатной температуре литий уходит из кристалла германия (процесс обратной диффузии), причем необратимо ухудшается разрешение детекторов. По этой причине Ge(Li)-детекторы работают и хранятся при температуре жидкого азота. Их основное назначение — спектрометрия гамма-излучения. Процесс их эксплуатации осложнен постоянной потребностью в жидком азоте.

В настоящее время разработаны технологии изготовления детекторов из CdTe, GaAs и некоторых других полупроводниковых материалов.

CdZnTe- и *CdTe*-детекторы имеют квазисферическую форму (собственно кристалл) и достигают в настоящее время объема десятки и сотни кубических миллиметров. Поскольку материал этих детекторов обладает большим Z ($Z_{Cd} = 48$, $Z_{Te} = 52$ по сравнению с $Z_{Ge} = 32$), их эффективность достаточно высока, особенно при измерениях мягкого гамма- и рентгеновского излучения. Их разрешающая способность при комнатной температуре много выше, чем у сцинтилляционных NaI-детекторов, а при охлаждении *CdZnTe*- и *CdTe*-детекторов в электрохолодильнике она может быть значительно улучшена: до 250 эВ при $E\gamma =$

5,9 кэВ и 700 эВ при $E\gamma = 59$ и 54 кэВ, т.е. почти как у LEGe-детекторов (Low Energy Ge — Ge-детекторы для измерения мягкого гамма- и рентгеновского излучений).

CdZnTe- и CdTe-детекторы без охлаждения используются в случаях, когда главным требованием являются миниатюрность и высокая регистрационная способность средства измерения (например, при измерениях отработавших ТВС ядерных реакторов). Однако детекторы из Ge и Si на сегодняшний день имеют наибольшее распространение.

Наиболее часто для спектрометрии гамма-излучений сейчас применяют детекторы из сверхчистого германия (HPGe). Исходным материалом для изготовления этих детекторов служит поликристаллический германий полупроводниковой чистоты, подвергаемый зонной очистке с поверхности. Зонная очистка применяется потому, что большинство примесей можно сконцентрировать и удалить вместе с жидким расплавом. Для этого нагревающую спираль постепенно двигают вдоль слитка. Из-за этого вызывается оплавление материала. Примеси остаются в расплавленной секции и постепенно «счищаются» к концу слитка. Многократно повторяется операция очистки, до того момента, когда примеси сконцентрируются на конце, который впоследствии удаляют. Полученный кристалл более чистый, чем исходный, и степень очистки от примесей достигает более 100 раз.

Очищенной заготовке придают нужную форму и делают полость на необработанном его конце для введения центрального контакта. Следующая операция является установка детектора в криостат, где его охлаждают до температуры жидкого азота (Рисунок 8). Первый каскад предусилителя тоже охлаждают для снижения теплового шума, помещая его в высоком вакууме внутри криостата. Для поддержания вакуума и удаления оставшегося воздуха после откачки используют газопоглотитель. Детектор устанавливают на медном стержне, так называемом хладопроводе, который опущен в дьюар с жидким азотом.

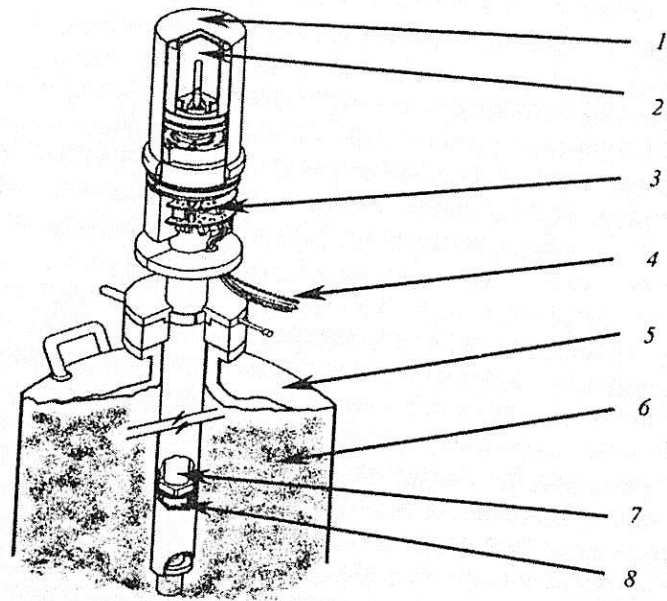


Рисунок 8. Разрез Ge-детектора: 1 — крышка детектора (с окном из тонкой Ве-фольги или углеродной пленки для измерений мягкого гамма- и рентгеновского излучений); 2 — кристалл германия; 3 — предусилитель; 4 — кабели, ведущие к блоку питания предусилителя, входу усилителя, и т.д.; 5 — сосуд Дьюара; 6 — жидкий азот; 7 — хладопровод; 8 — газопоглотитель

Толщина стенок алюминиевого криостата равна 1,3 мм. В крышке криостата делают окно из Ве или пленки из углеродного волокна для измерений мягких гамма-излучений.

Для различных применений изготавливаются пленарные и коаксиальные детекторы, а также коаксиальные детекторы с колодцем для измерения малых активностей. Диапазон энергий регистрируемых квантов гамма-излучения определяется технологическими и конструктивными особенностями германиевых детекторов и может лежать в пределах от единиц килоэлектронвольт (планарные детекторы с бериллиевым окном) до 10 МэВ (коаксиальные детекторы большого объема).

Современные коаксиальные HPGe-детекторы имеют эффективность до 200 %* и разрешение лучше 2 КэВ для гамма-линии диаметром 7,5 см и толщиной 7,5 см.. Эффективность Ge-детектора (%) приблизительно равна его объему (см^3), деленному на 4,3. Важным параметром является отношение пик/комpton для

линии 1332 кэВ (^{60}Co), характеризующее контрастность аппаратурной линии. Для германиевых детекторов с относительной эффективностью от 5 до 60 % это отношение равно 40-80 соответственно и практически не увеличивается с дальнейшим возрастанием относительной эффективности детектора [27].

HPGe-детекторы требуют охлаждения во время работы, но храниться они могут при комнатной температуре. Существует три варианта применения HPGe-детекторов и, соответственно, три способа их охлаждения.

Стационарная измерительная установка в лаборатории: хладопровод детектора погружают в стандартный сосуд Дьюара содержащий 30-50 л жидкого азота.

Мобильная установка, перемещаемая с места на место: применяют миниатюрный сосуд Дьюара емкостью 3-10 л, который требует частого долива жидкого азота.

Применение HPGe-детектора в местах, куда доставка жидкого азота невозможна или затруднена. Тогда для охлаждения используют электрохолодильное устройство компрессионного типа, работающее от электрической сети или от батареи. Разработаны электрохолодильники для лабораторного применения (размер 20x20x20 см, масса 16 кг) и переносные (общая масса детектора и холодильника составляет около 10 кг). Этот способ охлаждения позволяет обеспечить такое же разрешение, как и при использовании жидкого азота.

Время готовности детектора к выполнению измерений после начала охлаждения составляет 3-6 ч.

В настоящее время производятся и продаются различные Ge-Детекторы разных конструкций для разных применений:

- детекторы излучений ультранизких энергий для спектрометрии квантов с энергией от 0,3 кэВ;
- LEGe-детекторы для спектрометрии излучений с энергией 30+500 кэВ;
- коаксиальные Ge-детекторы для спектрометрии излучений в диапазоне энергий от 50 кэВ до 10 МэВ;

- детекторы с расширенным диапазоном применения (от 3 кэВ до 10 МэВ) (Рисунок 9);

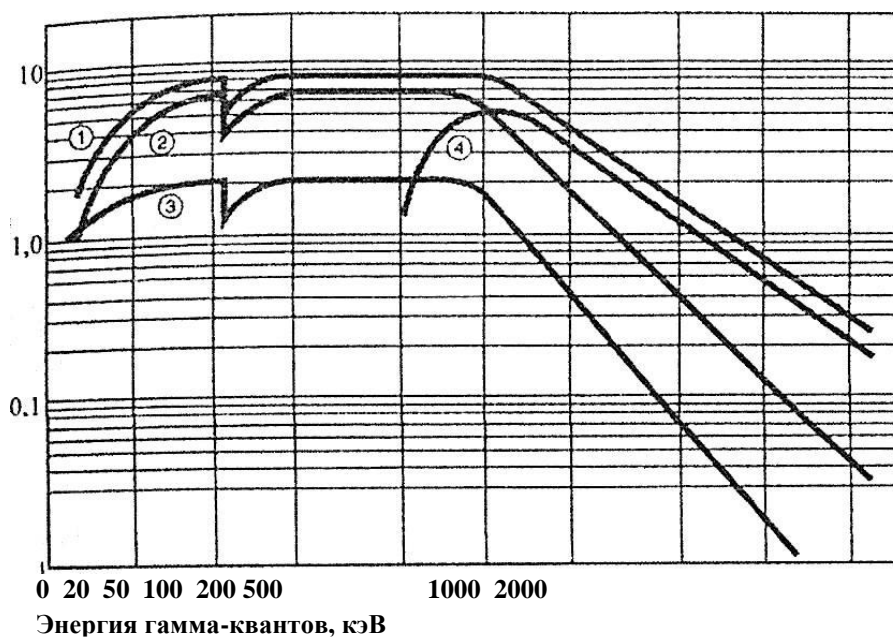


Рисунок 9. Кривые абсолютной эффективности разных Ge-детекторов: 1 — Ge-детектор n-типа с повышенным ресурсом для нейтронного облучения и относительной эффективностью 15 %; 2 — LEGe-детектор площадью 10 см² и толщиной 15 мм; 3 — LEGe-детектор площадью 200 мм² и толщиной 10 мм; 4 — Коаксиальный Ge-детектор с относительной эффективностью 10 %

- детекторы с повышенным ресурсом работоспособности по отношению к нейтронному облучению;
- детекторы с колодцем для измерений малых образцов в 4π геометрии.

Производятся планарные LEGe-детекторы с активной площадью от 50 мм² до 20 см², толщиной от 5 до 20 мм, с окном из бериллия толщиной 0,05-0,5 мм. Их разрешение в зависимости от размеров составляет от 150 до 400 эВ при $E_\gamma = 5,9$ кэВ и 500-700 эВ при $E_\gamma = 122$ кэВ.

Характеристики коаксиальных детекторов: эффективность 10-200%, типичное разрешение при $E_\gamma = 122$ кэВ составляет 1,0-1,4 кэВ, при $E_\gamma = 1332$ кэВ — 1,8-2,5 кэВ.

Ge-детекторы комплектуют зарядочувствительными предусилителями (ПУ) или ПУ с оптической обратной связью (для детекторов низкоэнергетических излучений). Первый каскад ПУ размещают в криостате.

На Рисунках 9 и 10 приведены данные о разрешении ΔE и абсолютной эффективности ϵ детекторов разных типов.

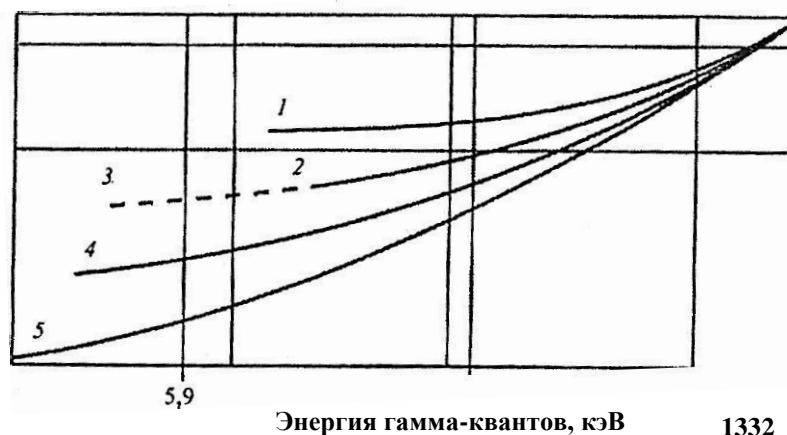


Рисунок 10. Зависимость разрешения разных детекторов от энергии гамма-квантов: 1-коаксиальный Ge-детектор с колодцем; 2- коаксиальный Ge-детектор; 3- Ge-детектор с повышенным ресурсом для нейтронного облучения; 4 - LeGe-детектор с большой площадью; 5 - LEGe-детектор с малой площадью

Отмечалось, что увеличение объема детектора ведет к росту эффективности регистрации излучений. Однако существуют задачи, когда измеряют низкоэнергетические гамма- и рентгеновские излучения в присутствии жесткого излучения, которое создает фон (в результате комптоновского рассеяния) и загружает измерительный тракт сигналами большой амплитуды. В подобном случае целесообразно использовать детекторы небольшого объема (планарные Ge-детекторы или Si-детекторы). Их фотоэффективность достаточно велика для измерений излучений с энергией меньше 100 кэВ, причем фон, создаваемый более жестким излучением, относительно мал.

Высокое энергетическое разрешение ППД может быть реализовано только при использовании малощумящего электронного тракта. В качестве характеристики разрешающей способности спектрометра используется полная ширина пика полного поглощения на половине его высоты (ПШПВ). Общее разрешение спектрометра ΔE может быть представлено формулой:

$$\Delta E = \sqrt{\text{ПШПВ}_{\text{шум}}^2 + \text{ПШПВ}_{\text{дет}}^2} \quad (1.4)$$

где $\text{ПШПВ}_{\text{шум}}$ определяется шумом электронного тракта; $\text{ПШПВ}_{\text{дет}}$ — слагаемое, учитывающее флуктуацию числа носителей заряда, обусловленную статистической природой образования пар носителей заряда, рекомбинацией, захватом в ловушки и другими процессами в детекторе.

Современные промышленные предусилители для германиевых детекторов гамма-излучения обычно имеют энергетический эквивалент уровня шумов в пределах 400-700 эВ.

Сцинтилляционные детекторы.

Сцинтилляторы — вещества, в которых под действием заряженных частиц или излучений возникают фотоны видимой или ультрафиолетовой части спектра излучения. Важное условие: выбранный сцинтиллятор должен слабо поглощать собственные излучения.

Вспышки света, производимые сцинтиллятором, обычно регистрируют с помощью фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Фотоны, попадая на фотокатод ФЭУ (Рисунок 11), выбивают электроны.

Когда гамма-кванты взаимодействуют с материалом сцинтиллятора, то образуются возбужденные атомы, которые, переходя в основное состояние, испускают фотоны. Энергия фотонов слишком высокая, вероятность их взаимодействия с фотокатодом очень мала. Чтобы увеличить длину волны

фотонного излучения и повысить вероятность их взаимодействия с фотокатодом, в сцинтилляторы добавляют небольшое количество примеси-активатора. Введение активатора способствует также увеличению прозрачности сцинтиллятора для собственного фотонного излучения.

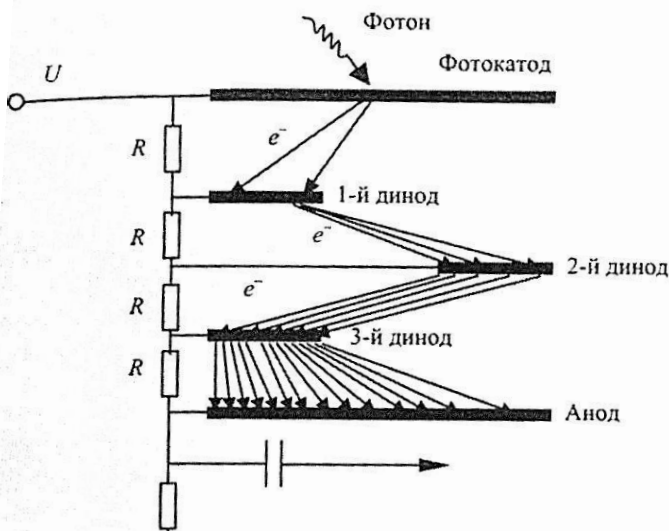


Рисунок 11. Устройство ФЭУ

Первичные электроны,

испускаемые катодом, направляются электрическим полем на диноды (эмиттеры) ФЭУ, где происходит вторичная эмиссия электронов; вторичные электроны направляются на второй динод и т.д. Электронный поток с последнего динода собирается коллектором — анодом. На анод ФЭУ приходит в 10^4 - 10^7 раз больше электронов, чем вылетело с фотокатода. Возникает электрический импульс, который регистрируется.

Время испускания фотонов характеризуется временем жизни возбужденного состояния молекул. Для разных сцинтилляторов это время около 10^{-9} - 10^{-5} с.

Вероятность образования электрона при взаимодействии фотона с фотокатодом называют конверсионной эффективностью. Она равна 0,05-0,10. Наиболее распространены Sb-Cs, Sb-Cs-O и мультищелочные фотокатоды, которые обладают высокой чувствительностью к испускаемым сцинтилляторами фотонам.

V_i — коэффициент вторичной электронной эмиссии.

Промышленные ФЭУ имеют $M = 10^5$ - 10^8 . Величина M зависит от колебаний напряжения, температуры, внешнего магнитного поля. Время регистрации t' определяется статистической природой появления вспышки света, различиями во времени движения фотонов до фотокатода (они образуются в разных местах и попадают на катод после нескольких рассеяний), различиями во временах движения от динода к диноду. Интенсивность флюоресценции, после попадания в сцинтиллятор ионизирующей частицы, затухает с постоянной времени, равной времени жизни возбужденных атомов, по экспоненциальному закону. Собираемый на аноде ФЭУ электронный заряд экспоненциально возрастает с той же постоянной времени. Следовательно, время высвечивания определяет минимальную длительность сигнала и временное разрешение. При использовании органических или жидких сцинтилляторов можно получить лучшее разрешающее время. У неорганических кристаллов, используемых для измерений гамма излучений, время высвечивания около 1 мкс. Среди них наиболее широкое распространение нашли монокристаллы галоидов щелочных

металлов: NaI, CsI, LiI с добавками активаторов (Таблица 6). Кристаллы NaI-соединения гигроскопичны, поэтому применяется специальная упаковка для их защиты от атмосферной влаги. Сигналы, получаемые с ФЭУ, не требуют большого усиления, однако необходимо обеспечивать высокую стабильность питающего высокого напряжения.

Таблица 4. Свойства неорганических сцинтилляторов

Кристалл	Плотность г/см ³	Время высвечивания, МКС	Конверсионная эффективность, %
NaJ(Tl)	3,67	0,23	8-13
CsJ(Tl)	4,51	1,00	~ 6
LiJ(Eu)	4,06	1,20	~ 4

Кристаллы NaJ(Tl) размером 063x63 мм используют для спектрометрии гамма-излучения с энергией 0,3+2,0 МэВ, 040x40 мм — для 0,1+1,0 МэВ, тонкие кристаллы толщиной 1+3 мм — для спектрометрии рентгеновского излучения с энергией 0,01+0,1 МэВ.

Сравним теперь характеристики ППД и сцинтилляционных детекторов.

1. Ранее было показано, что фотоэффективность детекторов пропорциональна $Z^{4,6}$. Поэтому отношение фотоэффективностей Ge- и NaI-детекторов пропорционально $(Z_{\text{I}}/Z_{\text{Ge}})^{4,6} = (51/32)^{4,6} = 10$. Полезная информация в измеренных спектрах сосредоточена в фотопиках, в то время как сигналы, образующиеся в результате комптоновского рассеяния не несут полезной информации, но загружают электронный тракт и могут мешать измерению пиков. Отношение вероятностей фотопоглощения и рассеяния пропорционально $Z^{4,6}/Z = Z^{3,6}$ и для NaI-детекторов она гораздо выше.

2. Величина ПШПВ, характеризующая разрешающую способность детектора, пропорциональна корню квадратному из энергии, расходуемой на образование носителей электрических зарядов, и в ППД она в десятки раз меньше (Рисунок 12). Это имеет решающее значение при измерениях сложных спектров и анализах, проводящихся в присутствии фона.

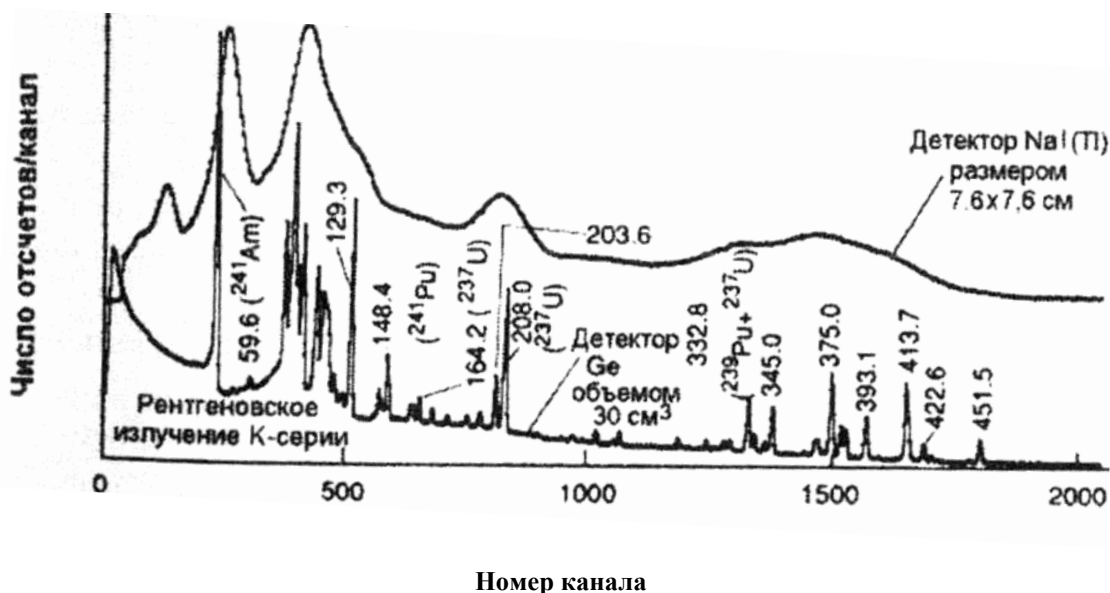


Рисунок 12. Спектр гамма-излучения плутониевого образца, полученный с использованием Ge-детектора высокого разрешения и NaI-детектора

3. Иногда используют комбинацию детекторов: ППД помещают в колодец, проделанный внутри большого сцинтилляционного детектора. При этом гамма-кванты, испытавшие рассеяние в ППД и покинувшие его объем, поглощаются в сцинтилляторе. Случаи, когда сигнал возникает в обоих детекторах одновременно, регистрируют с помощью схемы совпадений и исключают из спектра, измеренного на ППД, уменьшая таким образом комптоновский континуум. Такой способ минимизации фоновой подложки называют активной защитой детектора.

Метод изотопных корреляций.

В некоторых случаях неразрушающие гамма-спектрометрические измерения содержания важных радионуклидов невозможны из-за слабой проникающей способности их излучений или сильного фона посторонних излучений.

Такие ситуации возникают при определении содержания трансурановых радионуклидов в радиоактивных отходах, отработавшем реакторном топливе, окружающей среде.

Под изотопными корреляциями понимают связи между концентрациями определенных радионуклидов, например, между продуктами деления и трансурановыми нуклидами. Применение метода изотопных корреляций дает

возможность по результатам неразрушающих измерений гамма-излучения продуктов деления получить информацию о содержании актиноидов (плутония и т.д.), для прямых измерений которых необходимы трудоемкие разрушающие анализы.

Для успешного применения метода изотопных корреляций должны выполняться два основных условия.

1. Измеряемый и оцениваемый радионуклиды должны быть генетически связаны (иметь общее происхождение, например, образовываться в результате реакций нейтронов с атомами реакторного топлива).

2. Коэффициент корреляции (соотношение между концентрациями этих нуклидов) должен быть установлен с требуемой точностью с учетом его возможных изменений во времени в результате распада и миграции ядер.

Примером практического применения метода может служить контроль за содержанием альфа-активных нуклидов в бочках с жидкими радиоактивными отходами по результатам измерения интенсивности излучения ^{137}Cs .

Поглощение излучения на пути в детектор, защита от фона, фильтрация, самопоглощение в образце, ослабление в стенках контейнера [44].

1.5.2. Защита детекторов

Во многих случаях точность измерений можно повысить, если гамма-кванты более низких энергий будут поглощены до того, как они достигнут детектора. Эти низкоэнергетические гамма-кванты, если их не вывести из потока, могут вызвать значительное увеличение числа просчетов, обусловленных большой загрузкой спектрометра, и искажение спектра. Процесс выведения гамма-квантов определенной энергии из потока часто называют фильтрацией. Фильтры изготавливают из материалов с таким атомным номером, чтобы рост сечения фотоэффекта происходил вблизи энергии гамма-квантов, которые должны быть поглощены, но значительно ниже энергии измеряемых гамма-квантов.

Оценки показывают, что применение кадмиевого фильтра толщиной 2 мм позволяет ослабить поток мягкого излучения с энергией 60 кэВ в $2 \cdot 10^4$ раз, в то

время как поток излучения с энергией 414 кэВ уменьшится только на 20 % (Таблица 5).

Таблица 5.

Ослабление гамма-квантов разных энергий в кадмиевом фильтре N0/N

Толщина фильтра, см	Е _γ , кэВ			
	60	129	208	414
0	1	1	1	1
0,1	1,48*10 ²	1,92	1,26	1,09
0,2	1,92*10 ⁴	3,79	1,58	1,20

На Рисунке 13 показана зависимость эффективности регистрации гамма-излучения от энергии для Ge-детектора с защитой из борированного полиэтилена (40 мм) и фильтрами из свинца (4 мм) и кадмия (2 мм). Для построения градуировочной кривой использовались источники ¹⁵²Eu и ²²⁶Ra [16].

Если измеряют жесткое излучение с энергией более 1 МэВ и хотят ослабить мешающее излучение с энергией 100-500 кэВ, применяют фильтры из свинца. Следует учесть, что при поглощении гамма-квантов свинцом возникает характеристическое рентгеновское излучение К-серии с энергией 72-75 кэВ, для поглощения которого используют кадмий. В свою очередь, для поглощения характеристических рентгеновских квантов К-серии кадмия с энергией 23 кэВ используют медь. В комбинированных фильтрах материал с самым низким *Z* располагают ближе к детектору.

Теперь рассмотрим задачу ослабления внешнего фонового излучения путем использования защиты детектора. Внешний фон могут создавать радионуклиды, содержащиеся в строительных конструкциях; радиоактивные источники, находящиеся в лаборатории; установки (реактор, ускоритель заряженных частиц), работающие поблизости. Фоновые излучатели могут содержаться в самом детекторе, если его оболочка была запачкана во время предыдущих измерений. В настоящее время многие металлические детали конструкций также содержат

радионуклиды. Поэтому для изготовления защиты детектора отбирают специально проверенные материалы.

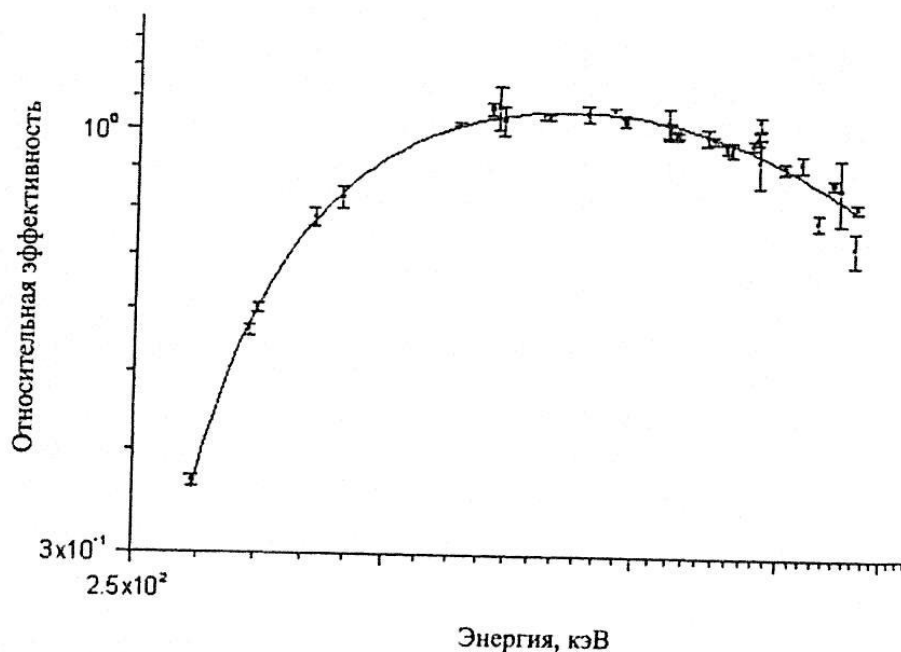


Рисунок 13. Кривая относительной эффективности детектора

В спектре внешнего фона могут присутствовать линии природных и техногенных излучателей. Фон природных радионуклидов может иметь существенное значение в искажении интенсивности слабых гамма-пиков при длительных измерениях. Основным источником фона являются ^{40}K и продукты распада ^{226}Ra и ^{232}Th . Наряду с ними нередко встречаются ^{137}Cs , ^{60}Co и некоторые другие излучатели. В Таблице 6 представлены основные источники фоновых излучений.

Внешний фон подавляют путем использования защиты детектора, что особенно важно при исследовании малых эффектов. Защита делится на пассивную, активную и комбинированную защиту.

Таблица 6. Фоновые излучатели

E_{γ} , кэВ	238,6	352	583	609	662	911	1001	1173	1238	1332	2614
Нуклид	^{212}Pb	^{214}Pb	^{208}Tl	^{214}Bi	^{137}Cs	^{228}Ac	^{234}Pa	^{60}Co	^{214}Bi	^{60}Co	^{208}Tl
Семейство	Th	U	Th	U	—	Th	U	—	U	—	Th

Пассивная защита состоит из слоев различных материалов — с большим, средним и малым Z , окружающих детектор, например, $\text{Pb} + \text{Cd} + \text{Cu}$. Внешний

слой поглощает фоновое гамма-излучение, а образующиеся при этом тормозное и характеристическое рентгеновские излучения поглощаются слоями более легких материалов.

Для активной защиты основной детектор окружают несколькими вспомогательными детекторами, в которых регистрируются рассеянные гамма-кванты, вылетающие из основного. Основной и вспомогательные детекторы включают в схему совпадений, с помощью которой исключают рассеянные кванты и подавляют комптоновский континуум в спектрах.

Для подавления космического фона измерительные системы иногда размещают под землей [37].

Поглощение излучения внутри образцов и на пути из образца в детектор.

Гамма-спектрометрические измерения приходится проводить с образцами разных размеров и из самых разных материалов. Так, например, анализируют образцы почвы на содержание в них актиноидов, измеряя при этом низкоэнергетическое гамма-излучение и L-рентгеновское излучение плутония и ^{241}Am ; бочки с жидкими и твердыми радиоактивными отходами, целые отработавшие ТВС (по гамма-излучению ^{137}Cs , $E_\gamma = 662$ кэВ), и др. Часть измеряемых излучений поглощается внутри образцов и в их упаковках. Чтобы правильно определить содержание радионуклидов в образцах, необходимо внести соответствующие поправки на самопоглощение их излучения [30].

При определении указанных поправок анализируется вопрос: какая часть гамма-излучения, испускаемого материалом образца в направлении детектора, действительно достигнет его? Для того чтобы вычислить поправку на самопоглощение, нужно знать линейный коэффициент ослабления излучения в материале образца— μ .

Наиболее общий способ получения величины μ состоит в измерении коэффициента пропускания пучка гамма-квантов от внешнего источника через образец материала. Коэффициент пропускания Γ — отношение скоростей счета

импульсов источника при измерениях с образцом (N) и без образца (N_0), $T=N/N_0$. В случае плоского образца он может быть описан выражением:

$$T = e^{-\mu x} \quad (1.5)$$

где x — толщина образца.

Решая это выражение относительно μ , получаем:

$$\mu = \frac{-\ln(T)}{x} \quad (1.6)$$

Для образцов в форме пластины формула для определения величины коэффициента самопоглощения k_c имеет вид

$$k_c = \frac{\mu x}{1 - e^{-\mu x}} \quad (1.7)$$

где x — толщина образца; μ — линейный коэффициент ослабления гамма-излучения в материале образца.

Эта формула справедлива для «дальней» геометрии измерений (для большого расстояния от образца до детектора), когда гамма-кванты летят в направлении детектора в виде параллельного пучка. В других случаях для получения точного значения поправки требуются дополнительные опыты или специальные расчеты.

Аналогичным образом по измерению пропускания можно определить поправку на поглощение в стенке контейнера, содержащего измеряемый образец.

На Рисунке 14 показаны энергетические зависимости коэффициента ослабления в разных материалах.

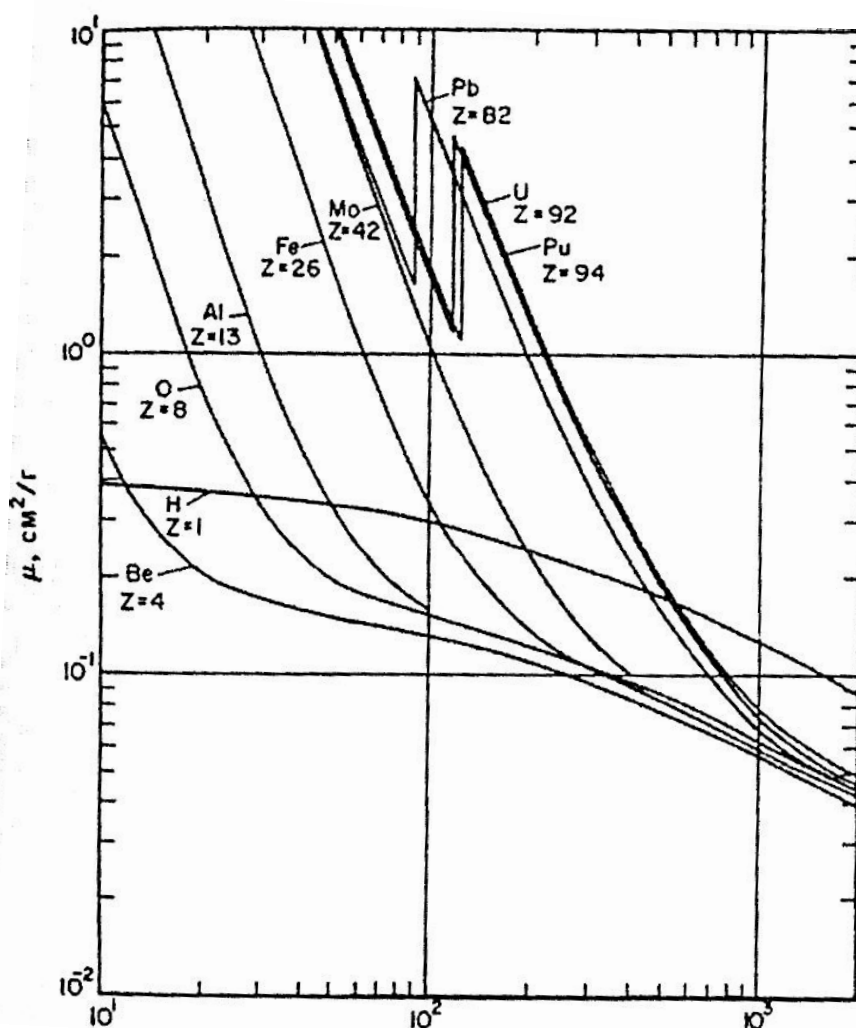


Рисунок 14. Полные массовые коэффициенты ослабления (без учета когерентного рассеяния) в зависимости от энергии для девяти элементов с атомным номером Z в диапазоне от 1 до 94

1.6. Системный анализ «узких мест» в сложных процессах обработки информации ИЛРК

Отсутствие оптимизированных информационных потоков приводит к возникновению трудностей при проведении большого количества анализов и, следовательно, обработки большого объема данных.

Серьезной проблемой при обработке результатов измерений являются пробы с низкой активностью в пределах нижней границы диапазонов измерений гамма спектрометрии. Достоверные данных в таких пробах возможно получить только в анализах с предварительной радиохимической пробоподготовкой. Некоторые алгоритмы и данные, используемые в методиках определения

активностей в образцах, реализует СПО по обработке спектров, однако в измерениях низкоактивных проб с предварительной радиохимической подготовкой, программы не в состоянии описать пики поглощения определяемых радионуклидов и корректно рассчитать активности с погрешностями по встроенному алгоритму обработки спектров. Обработка пиков вручную оператором лаборатории с занесением всех данных в рабочий журнал с последующим расчетом активностей и погрешностей приводит к увеличению фактора человеческой ошибки, большой потерей времени на расчет и общей низкой эффективности работы лаборатории [12, 14, 41].

Данные о первичной регистрации, о пробоподготовке, о результатах измерений хранятся в ИС ИЛРК. Информационные потоки в ИС можно описать следующими этапами:

- регистрация проб: обработка сопроводительной информации по пробам, предоставляемой поставщиком. Занесение сведений сотрудником лаборатории в журнал первичной регистрации;
- пробоподготовка по МВИ: проведение процесса подготовки проб к измерениям с занесением сведений о химических и физических характеристиках проб в журнал подготовки счетных образцов для дальнейших расчетов и манипуляций с пробами.
- выполнение исследований на средствах измерений: хранение спектров и радиометрических данных на ПК оператора с занесением сведений в журнал первичных результатов измерений;
- расчет активностей нуклидов в счетных образцах: обработка первичных результатов измерений с расчетом доверительных интервалов согласно МВИ с занесением сведений в журнал измерений.
- формирование протоколов измерений: обработка информации из журнала измерений с занесением необходимой справочной информации с ссылками на нормативные документы по радиационной безопасности в форму протокола, утвержденную руководством по качеству ИЛРК.

Анализ информационных потоков в ИС ИЛРК, позволил выявить отсутствие системы управления данными и общей структуры хранения данных, получаемых на отдельных этапах обработки информации (Рисунок 15). Решением проблемы централизованного хранения и управления данными является реляционная база данных (БД) в качестве основы ИС ИЛРК и СПО для поддержки ввода и вывода данных в БД на каждом этапе обработки информации; дополнительные модули, реализующие алгоритмы обработки результатов измерений на основе аттестованных МВИ.

Следующим этапом в исследовании стала разработка комплекса информационных моделей на основе методологии IDEF (ICAM Definition), позволяющей исследовать структуру, параметры и характеристики ИС ИЛРК для последующего создания модели базы данных и СПО.

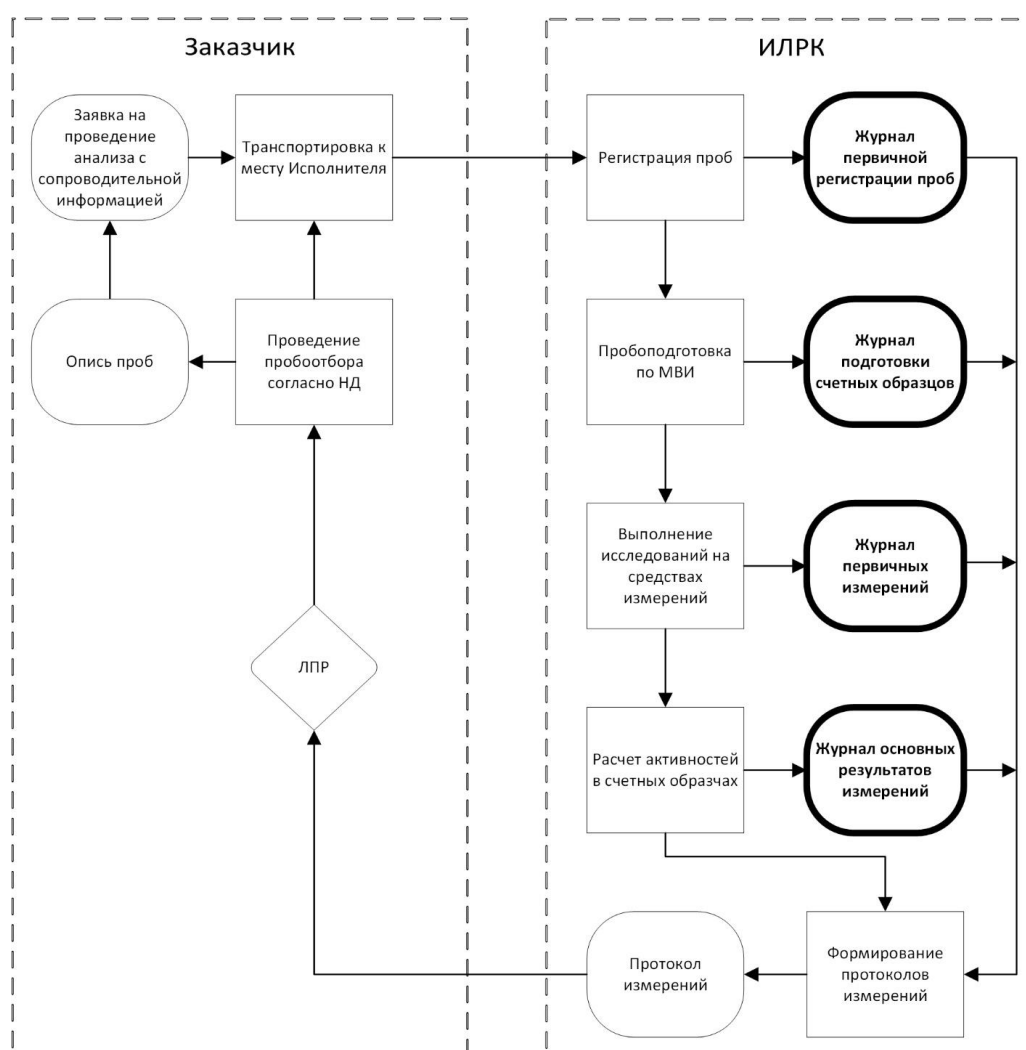


Рисунок 15. Схема информационных потоков ИЛРК АО «ВНИИХТ»

1.7. Выводы

В процессе системного анализа существующих процессов и операций обработки рассмотрены и показаны:

– современные подходы к построению информационных систем по сбору, хранению и обработке данных для предприятий химической технологии, подходы по обработке больших массивов специальных экспериментальных данных по радиационному анализу;

– нормативно-правовая документация в сфере обеспечения единства измерений данной области исследования;

– роль типовой исследовательской лаборатории радиационного контроля в принятии решений по оценке радиационной безопасности объектов анализа, проведен системный анализ процессов и операций, используемых в обработке данных радиационного анализа;

– информационные потоки процессов обработки информации о пробах, поступающих в лабораторию, а также о выходных данных лаборатории с целью выявления научно-технических проблем информационной поддержки и процесса переработки информации с выявлением отсутствия системы управления данными и общей структуры хранения данных, получаемых на отдельных этапах обработки информации

– важность обеспечения долговременного хранения полной информации о технологии получения каждого объекта исследования для подготовки управленческих решений при нарушении или угрозе нарушения условий эксплуатации;

– необходимость использования современных информационных технологий для гарантии надежности и сохранности информации, её преемственности при изменении форм носителей информации.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ АЛГОРИТМОВ И ПРОЦЕДУР ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Постоянное усложнение и необходимость анализа производственно-технических задач с целью повышения эффективности и совершенствования функционирования обуславливают необходимость использования специализированных средств анализа и описания таких систем. Особая актуальность этой проблемы обуславливается появлением автоматизированных предприятий и интегрированных компьютеризированных производств. В настоящий момент для увеличения эффективности промышленных предприятий посредством широкого внедрения информационных технологий широко используется методология IDEF (ICAM Definition). Создание адекватных методов анализа, способов обмена информацией между специалистами, занимающимися такими проблемами, проектирование производственных систем потребовало воплощение программы ICAM. Была разработана методология IDEF для удовлетворения этой потребности в рамках программы ICAM. Общая методология IDEF состоит из трех частных методологий моделирования в графическом представлении [42]:

- IDEF0 методология используется для отображения функции и структуры системы, а также потоков материальных объектов и информации, связывающих эти функции.
- IDEF1 методология используется для отображения содержания и структуры информационных потоков, требуемых для поддержки функций системы;
- IDEF2 методология позволяет создать динамическую модель изменяющихся во времени поведения функций, ресурсов, информации и системы.

В настоящее время наибольшее применение и распространение имеют методологии IDEF0 и IDEF1 (IDEF1X). IDEF0 разработана Дугласом Т. Россом в начале семидесятых годов и получившая название Structured Analysis & Design Technique.

2.1. Информационно-технологические процессы обработки информации в ИЛРК как объекта системного анализа

С точки зрения информационного обмена в цепочке Заказчик <—>ИЛРК, основной задачей ИЛРК является предоставление достоверной и качественной информации об активностях конкретных радионуклидов в пробах заказчика. В первую очередь заказчик со своей стороны в ТЗ предоставляет информацию о пробах (входящий номер пробы, физические и химические характеристики, информацию о пробоотборе, описание работ со списком интересующих радионуклидов), сроках выполнения работ, требованиях к результатам измерений и фактически сами пробы согласно календарному плану работ.

После согласования с обеих сторон подписывается договор с указанием стоимости работ, обязанностей, сроков выполнения работ, видов отчетности, и т.д.

Основным документом лаборатории в системе менеджмента качества является «Руководство по качеству», в котором прописаны обязанности каждого сотрудника на различных этапах выполнения работ. Также в руководстве присутствуют образцы входящих и исходящих документов ИЛРК (протокол о регистрации входящих проб, образцы электронных журналов, протокол результатов измерений), лаборатория принимает пробы и сопроводительную информацию. Сотрудник ИЛРК делает запись в журнале первичной регистрации, внося информацию о входящих пробах. Согласно утвержденному плану работ, пробы сортируются для выполнения тех или иных типов анализа, после чего осуществляется пробоподготовка счетных образцов квалифицированными сотрудниками согласно аттестованному МВИ лаборатории и утвержденной инструкцией по изготовлению счетных образцов.

В зависимости от сложности ТЗ используют как несколько методов, так только и один ГС метод. ГС метод определяет активность всех гамма излучающих радионуклидов в измеряемом образце, но поскольку в методе порог детектируемой активности на всем энергетическом диапазоне намного выше, чем в измерениях с предварительной радиохимической подготовкой, часто используют совместные измерения.

При использовании радиохимического метода происходит химическое выделение определенного радионуклида по утвержденным методикам, позволяющее отделить его от других радионуклидов и примесей, которые могут исказить результаты расчетов. Измерения радиоактивности с предварительной радиохимической подготовкой превосходят по чувствительности все другие методы и поэтому его использование при анализе проб экологического мониторинга просто незаменимо.

Таблица 7. Структурная таблица информационной модели.

Компонент	Функция	Документ	Материалы	Исполнитель
Регистрация проб	Получение от заказчика проб с сопроводительной информацией, проверка и запись информации в журнал.	Журнал первичной регистрации.	Проба	Лаборант
Пробоподготовка	Проведение пробоподготовки в соответствии с МВИ и инструкцией по изготовлению счетных образцов	Журнал подготовки счетных образцов	Счетный образец	Инженер-химик
Измерения на α -спектрометре	Выполнение измерений согласно соответствующей МВИ	Журнал подготовки счетных образцов, журнал измерений на α -спектрометре	Счетный образец	Оператор

Измерения на α, β - радиометре	Выполнение измерений согласно соответствующей МВИ	Журнал подготовки счетных образцов, журнал измерений на α, β - радиометре	Счетный образец	Оператор
Измерения на γ -спектрометре	Выполнение измерений согласно соответствующей МВИ	Журнал подготовки счетных образцов, журнал измерений на γ -спектрометре	Счетный образец	Оператор
Расчет активностей и погрешностей в счетных образцах	Выполнение расчета активностей и погрешностей в счетных образцах согласно соответствующей МВИ	Журналы измерений		Оператор
Формирование протоколов измерений	Составление протокола измерения или отчета.	Протокол измерений, отчет		Оператор

На каждом этапе выполнения работ все действия фиксируются в журналах.

Результаты исследований записываются в журнал измерений конкретного прибора, после чего рассчитывается активность счетных образцов и погрешностей измерений. Конечным результатом проделанной работы является протокол или отчет о проведенных измерениях, который в свою очередь визируется заместителем директора по науке, начальником лаборатории, ответственными исполнителями и передается заказчику. В таблице 7 приведена структура информационной модели.

Далее разобьем данную систему на отдельные компоненты и опишем функции компонентов, документы, исполнителей, входные и выходные потоки, механизмы и управления для дальнейшего построения моделей IDEF0, DFD, IDEF1X.

2.2. Функциональная модель информационной системы ИЛРК в нотациях IDEF0 и DFD

Методология проектирования ИС состоит из ряда этапов информационного моделирования структуры, потоков данных и функций ИС. Результатом моделирования является совокупность информационных моделей, описывающих информационные процессы обработки, хранения, сбора и представления информации с различных точек зрения, как на стадии проектирования, так и на стадии использования ИС.

Были построены функциональные модели в нотации IDEF0, описывающие информационное взаимодействие лаборатории и заказчика на основе анализа ИС.

Основная контекстная диаграмма функциональной модели процессов обработки информации в ИС представлена на Рисунке 16.

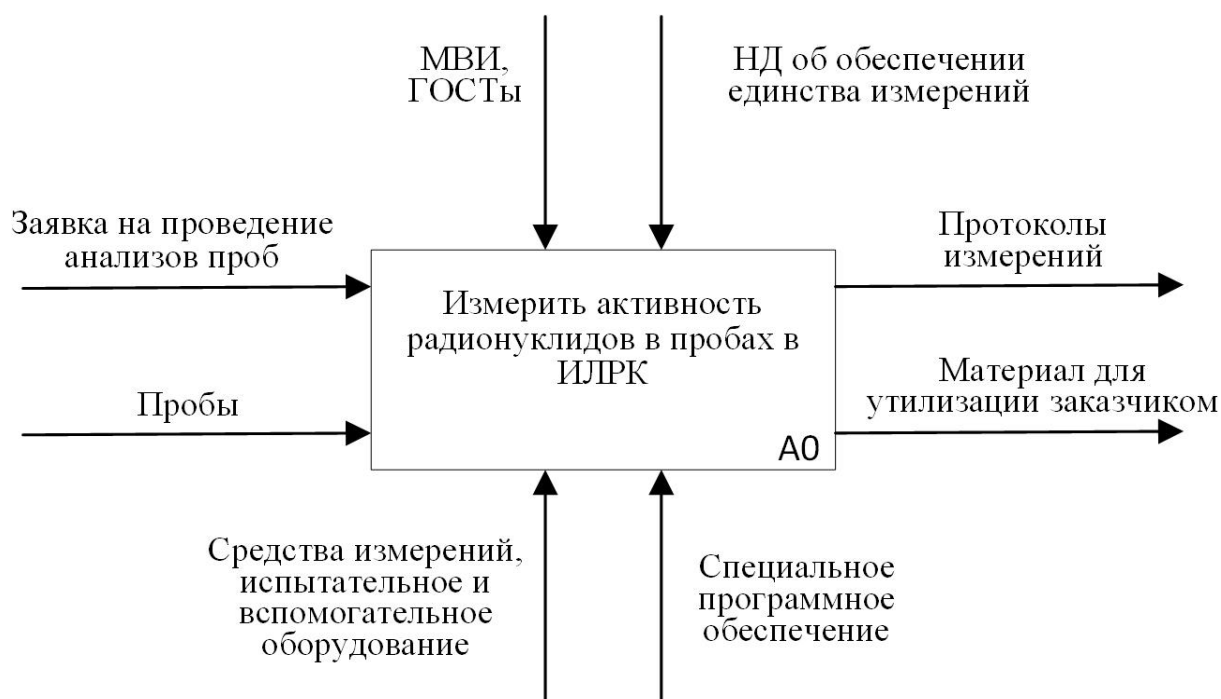


Рисунок 16. Основная контекстная диаграмма A-0 верхнего уровня

Входом в ИС ИЛРК является заявка на проведение анализов с сопроводительной информацией о пробах и сами пробы. Выходом являются протоколы измерений и материал после проведения анализов, который утилизирует сам заказчик. Функцией «Измерить активность радионуклидов в

пробах в ИЛРК» является проведение подготовки счетных образцов из проб, анализ сотрудником лаборатории на средствах измерений и расчет активностей и погрешностей в образцах согласно МВИ и НД по РБ.

Путем создания дочерней диаграммы единственная функция в контекстной диаграмме верхнего уровня может быть разложена на подфункции. С помощью дочерней диаграммы следующего, более низкого уровня, на которой все или некоторые функции также могут быть разложены на составные части основная контекстная диаграмма может быть разложена на составные части каждая из этих подфункций.

Каждая дочерняя диаграмма содержит дочерние стрелки и блоки, обеспечивающие дополнительную детализацию родительского блока. Создаваемая при декомпозиции дочерняя диаграмма охватывает область родительского блока и описывает ее более подробно. Таким образом, дочерняя

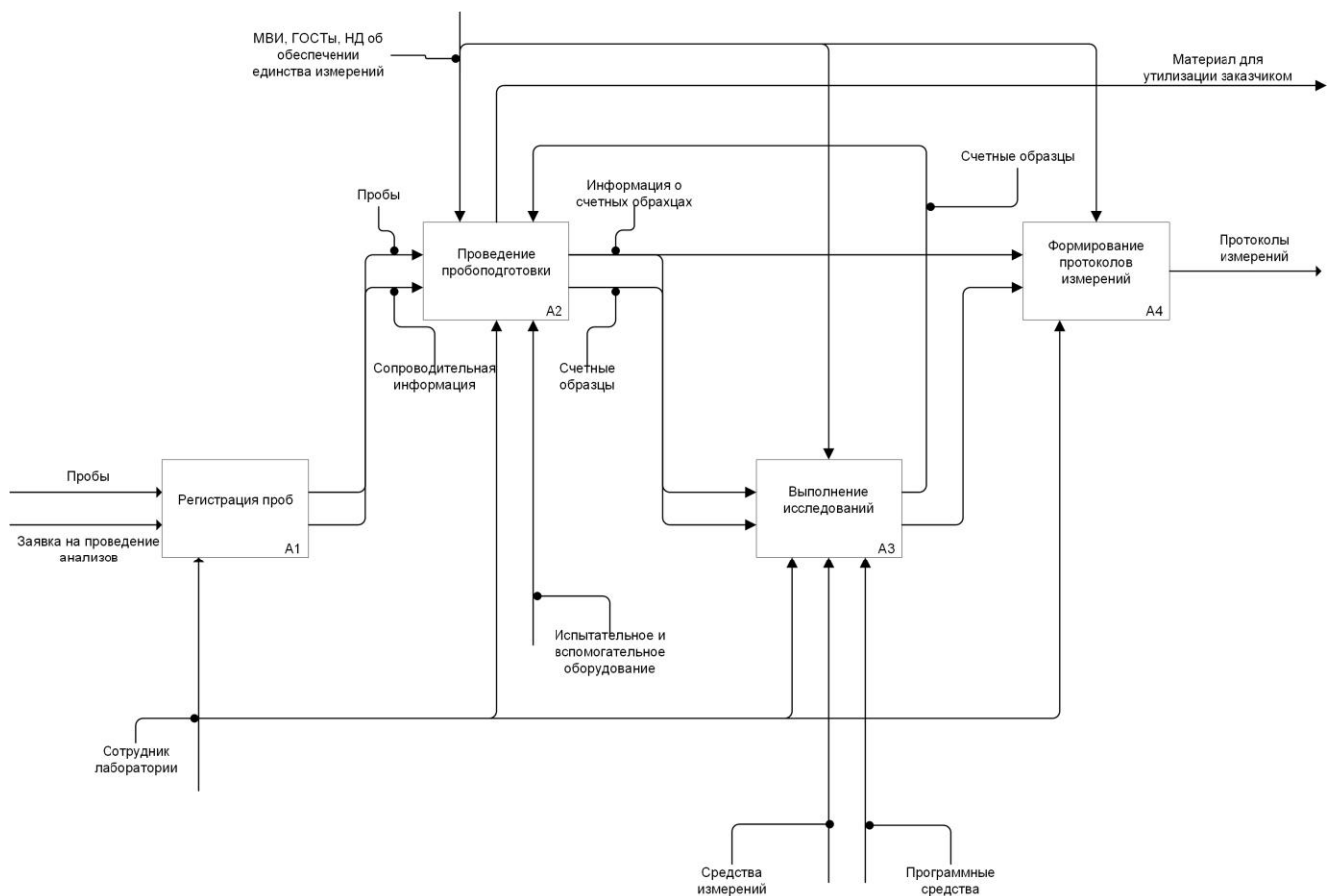


Рисунок 17. Декомпозиция функционального блока А-0

диаграмма как бы входит в структуру родительского блока. Декомпозиция первого уровня блока А-0 контекстной диаграммы показана на Рисунке 17 с последующими декомпозициями блоков (Рисунки 18-21).

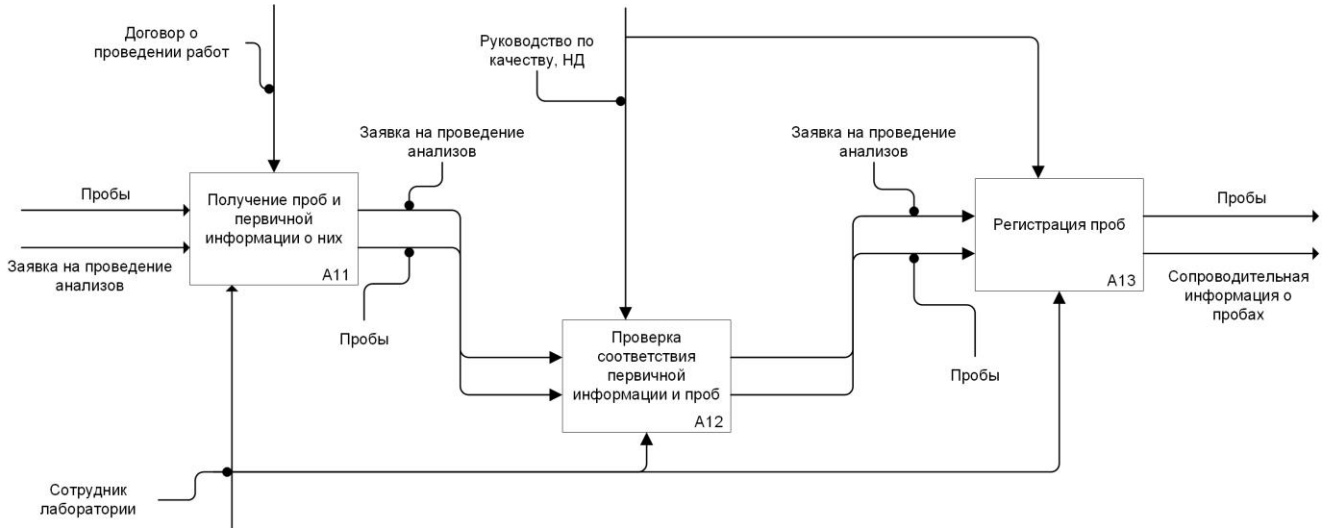


Рисунок 18. Декомпозиция первого уровня А1 функционального блока

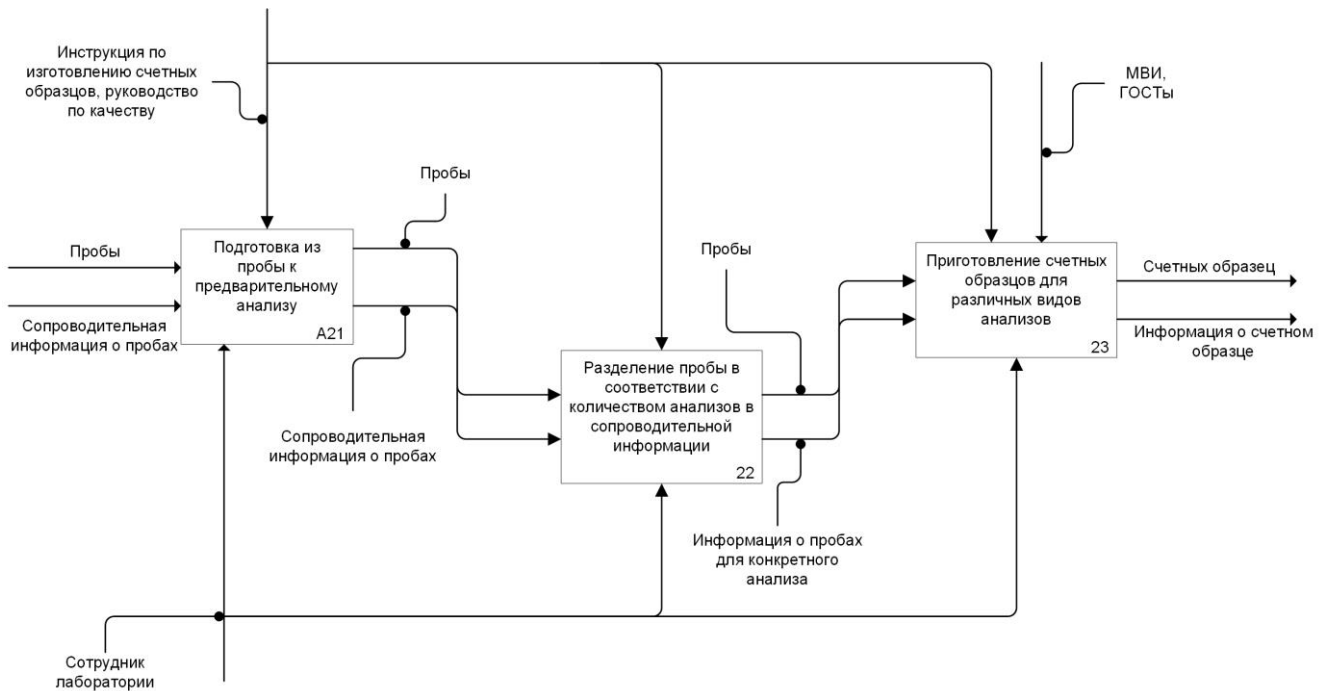


Рисунок 19. Декомпозиция первого уровня А2 функционального блока

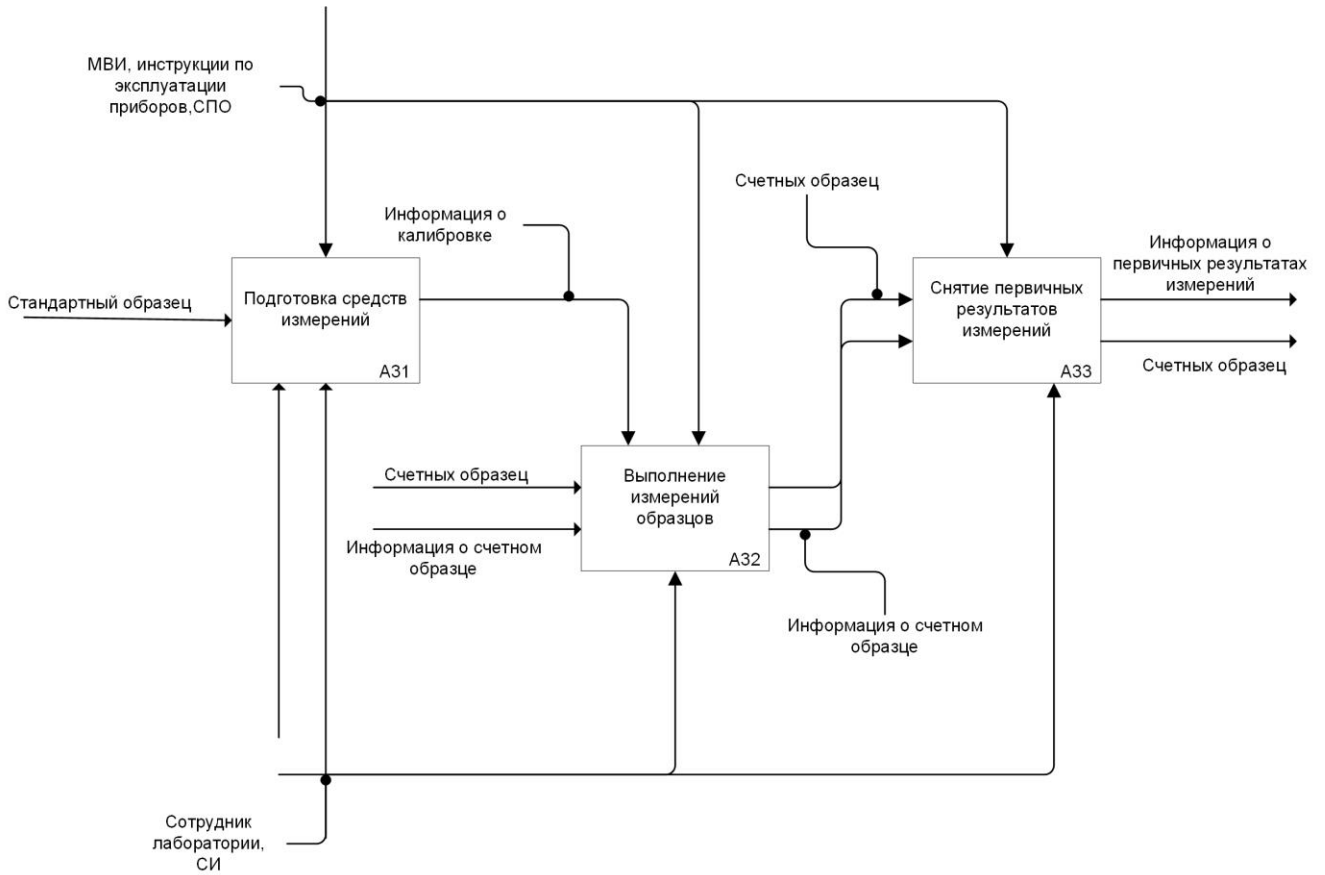


Рисунок 20. Декомпозиция первого уровня А3 функционального блока

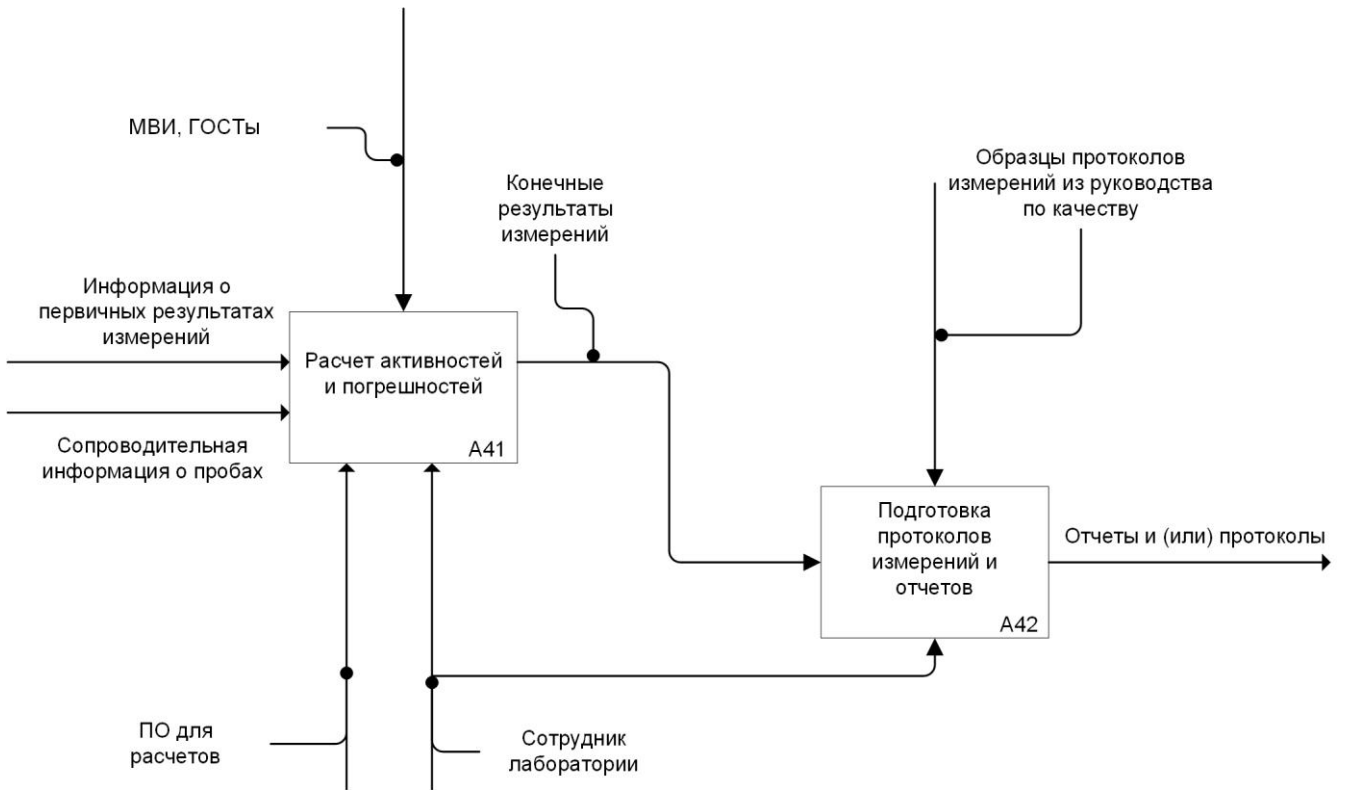


Рисунок 21. Декомпозиция первого уровня А4 функционального блока

Следующим этапом проектирования ИС являлось построение модели потоков данных, которая, помимо внешних по отношению к моделируемой системе сущностей, включает в себя как наименования функций (процессов), так и абстрактные накопители данных (документы, базы данных и т.д.).

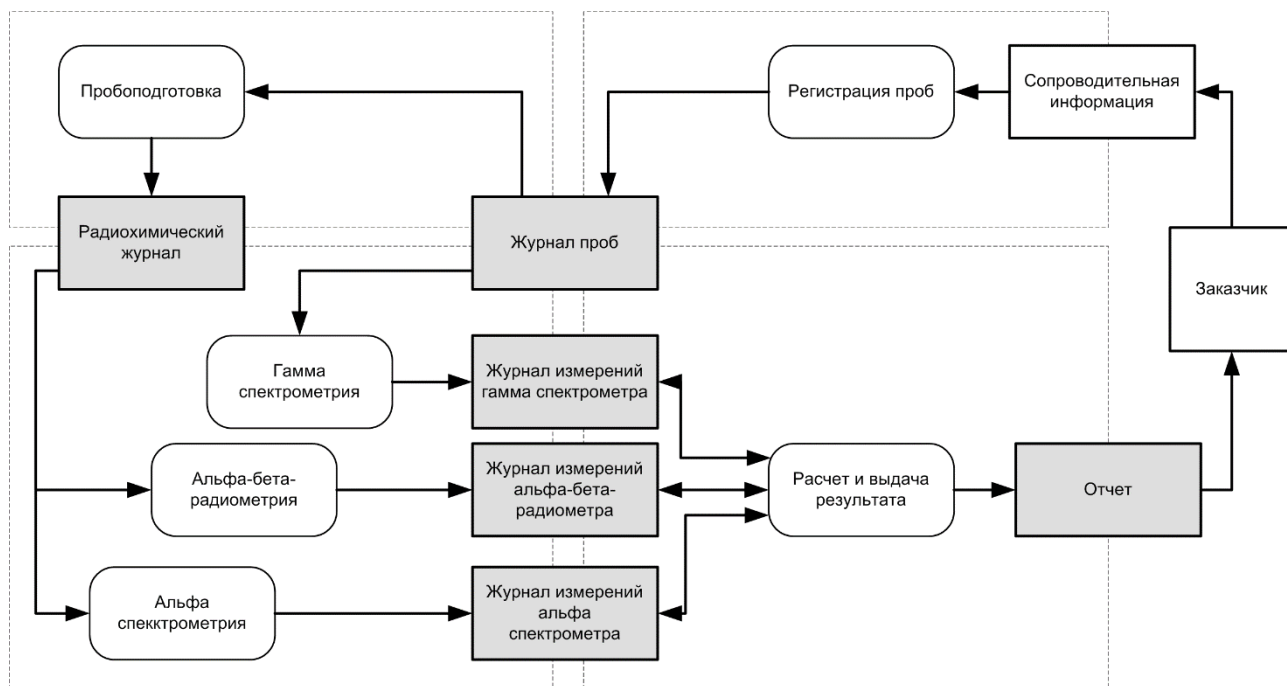


Рисунок 22. Диаграмма информационных потоков DFD

DFD (Data Flow Diagrams) — диаграммы потоков данных. Это методология графического структурного анализа, описывающая внешние по отношению к системе источники и адресаты данных, потоки данных логические функции и хранилища данных, к которым есть доступ.

Диаграмма потоков данных является один из основных инструментов проектирования и структурного анализа ИС.

Для обозначения элементов среды функционирования системы используется понятие внешней сущности. Внутри системы существуют процессы преобразования информации, производящие потоки новых данных. Потоки данных могут поступать на вход к другим процессам, передаваться к внешним сущностям помещаться и извлекаться в накопители данных.

Нотация DFD — это удобный инструмент для формирования контекстной диаграммы, демонстрирующей разрабатываемую ИС в связи с внешней средой. В

иерархии диаграмм назначение диаграммы верхнего уровня DFD является ограничение рамки системы, определение, окончание разрабатываемой системы и начало среды.

Диаграмма потоков данных DFD, приведенная на Рисунке 22 построена в нотации Гейна-Сарсона.

При построении DFD диаграммы была использована нотация Process. При построении модели сложной ИС она может быть представлена на контекстной диаграмме в виде одной системы как единого целого, либо может быть разложена на совокупность подсистем. Процесс представляет собой трансформацию входных потоков данных в выходные в правилам определенного алгоритма. Физически процесс может быть реализован в виде подразделения организации или отдела, выполняющей обработку входных документов, выпуск отчетов, аппаратно реализованного логического устройства и др.

Пунктиром обозначены границы подсистем ИС ИЛРК. При помощи показанных на диаграмме документов осуществляется обмен информацией между подсистемами. Они могут которые вестись в бумажном или электронном виде.

2.3. Разработка модели базы данных информационной системы

Была построена реляционная модель данных в нотации IDEF1X при проектировании структуры базы данных (Рисунок 23). Модель содержит схему основного хранилища данных (о пробах, результатах измерений и счетных образцах), дополненную справочными таблицами.

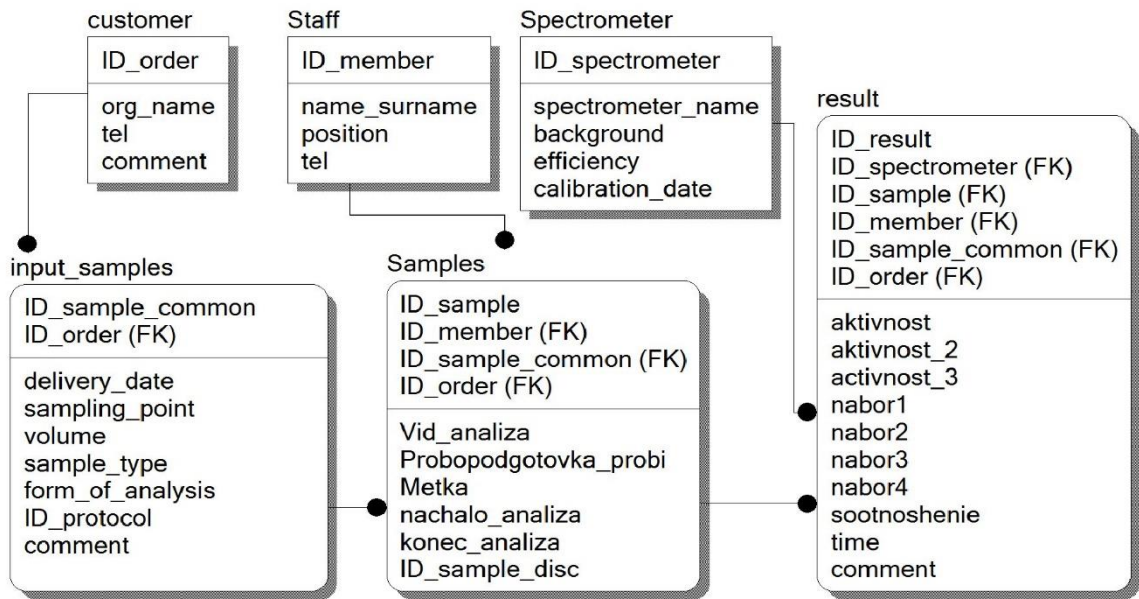


Рисунок 23. IDEF1X (ER) модель БД ИС ИЛРК

Описание таблиц БД:

Таблица 8 «Staff»

Поле	Тип	Сравнение	Атрибуты	Ноль	По умолчанию	Дополнительно
ID_member	int(11)			Нет		auto_increment
name_surname	varchar(50)	utf8_unicode_ci		Да	NULL	
position	varchar(50)	utf8_unicode_ci		Да	NULL	
tel	varchar(50)	utf8_general_ci		Да	NULL	

Таблица 8 хранит данные о сотрудниках, которые работают с бд и проводят измерение, она нужна для отслеживания контроля работы;

Таблица 9 «Customer»

Поле	Тип	Сравнение	Атрибуты	Ноль	По умолчанию	Дополнительно
ID_order	int(11)			Нет		auto_increment
org_name	varchar(50)	utf8_general_ci		Да	NULL	
tel	varchar(50)	utf8_general_ci		Да	NULL	
comment	varchar(50)	utf8_general_ci		Да	NULL	

Таблица 9 заказчиков, от которых приходят пробы. В основном данные из этой таблицы будут требоваться при составлении отчетов.

Таблица 10 «Spectrometer»

Поле	Тип	Сравнение	Атрибуты	Ноль	По умолчанию	Дополнительно
ID_spectrometer	int(11)			Нет		auto_increment
spectrometer_name	varchar(255)	utf8_general_ci		Да	NULL	
parameters	varchar(255)	utf8_general_ci		Да	NULL	
background	text	utf8_general_ci		Да	NULL	
efficiency	text	utf8_general_ci		Да	NULL	

Таблица 10 хранит характеристические данные оборудования, необходимые для расчетов (фон, эффективность, и др.).

Таблица 11 «Input samples»

Поле	Тип	Сравнение	Атрибуты	Ноль	По умолчанию	Дополнительно
ID_sample_common	int(11)			Нет	0	
delivery_date	varchar(50)	utf8_unicode_ci		Да	NULL	
ID_order	int(11)			Да	0	
sampling_point	varchar(50)	utf8_general_ci		Да	NULL	
volume	varchar(50)	utf8_general_ci		Да	NULL	
sample_type	varchar(50)	utf8_general_ci		Да	NULL	
form_of_analysis	varchar(50)	utf8_general_ci		Да	NULL	
result	text	utf8_general_ci		Да	NULL	
ID_protocol	varchar(50)	utf8_general_ci		Да	NULL	
comment	text	utf8_general_ci		Да	NULL	

Таблица 11 входных проб. В ней создается запись при регистрации новой пробы, а также после измерения и обработки заносятся выходные данные для отчета. Таблица 12 хранит данные о конкретном измеряемом образце, данные в нее заносятся на стадии пробоподготовки: создание записи в данной таблице, и размещение таких данных как номер пробы, номер диска на который наносится исследуемое вещество, на какой нуклид эта проба исследуется, активность метки, дата создания диска. После измерения сюда заносятся данные о спектрометре, на котором производилось измерение, времени измерения, набор выходных данных спектра (количество импульсов в пике, исследуемого нуклида и нуклида спектра) и времени измерения.

Таблица 12 «Samples»

Поле	Тип	Сравнение	Атрибуты	Ноль	По умолчанию	Дополнительно
ID_sample	varchar(50)	utf8_general_ci		Нет		
ID_sample_common	int(11)			Да	0	
ID_sample_disc	varchar(50)	utf8_general_ci		Да	NULL	
material	varchar(50)	utf8_general_ci		Да	NULL	
ID_spectrometer	int(11)			Да	0	
ID_member	int(11)			Да	0	
time	double			Да	NULL	
comment	text	utf8_general_ci		Да	NULL	
set_1	int(11)			Да	0	
set_2	int(11)			Да	NULL	
set_3	int(11)			Да	NULL	
set_4	int(11)			Да	NULL	
activity	double			Да	0	
yield	double			Да	0	
date	varchar(50)	utf8_unicode_ci		Да	NULL	

Таблица 13 «Nuclides»

Поле	Тип	Сравнение	Атрибуты	Ноль	По умолчанию	Дополнительно
<u>ID_nuclide</u>	int(11)			Нет	0	
nuclide_name	varchar(50)	utf8_general_ci		Да	NULL	
nuclide_energy_alpha	varchar(50)	utf8_general_ci		Да	NULL	
nuclide_energy_gamma	varchar(50)	utf8_general_ci		Да	NULL	

Таблица 13 содержит статические данные о нуклидах, с которыми производится работа, они нужны для дальнейшей обработке и обчете информации.

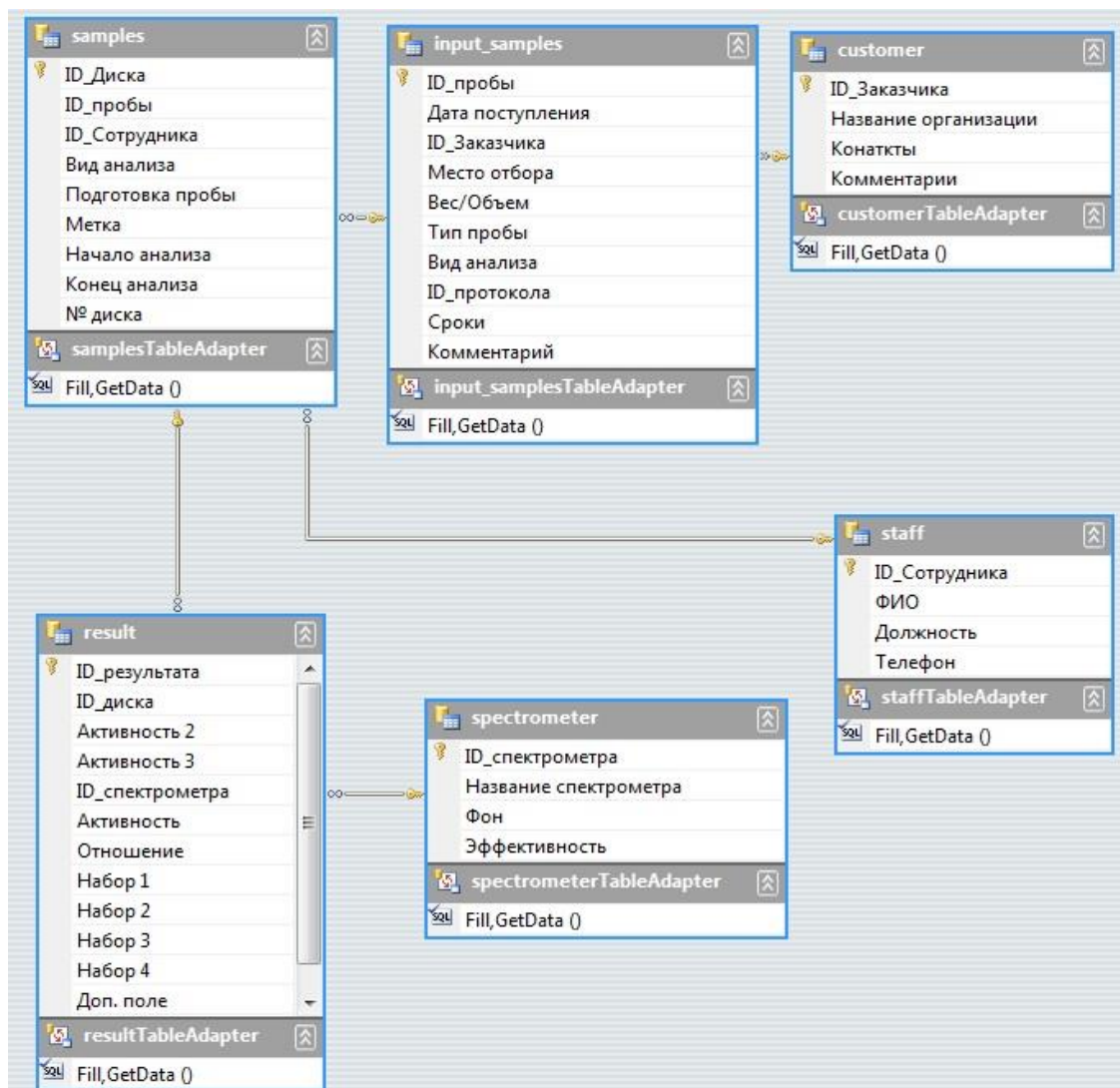


Рисунок 24. Структура БД

На Рисунке 24 представлена структура разработанной БД, все таблицы приведены к нормальной форме и обеспечивают целостность данных. В программе реализованы связи между таблицами для работы запросов при добавлении информации и ее обработке.

2.4. Обоснование выбора СУБД для информационной системы

Начиная с 1996 года, когда СУБД MySQL была простейшей реализацией SQL и до сегодняшнего заслуженного титула "самой популярной открытой базы данных в мире" MySQL прошла достаточно длинный путь.

Сейчас СУБД MySQL задействована в Web-узлах, поисковых механизмах, хранилищах данных, ПО и системах, работающих в критичных условиях, она активно используется такими компаниями, как Sony, Xerox, HP и NASA.

Быстродействующая, надежная и дружелюбная к пользователю СУБД MySQL, оснащена современным инструментарием, предназначенным для управления данными и их восстановления, с постоянно наращиваемым набором возможностей, соответствующая существующим стандартам SQL и четким правилам лицензирования. Данные факторы повлияли на то, чтобы СУБД MySQL стала существенной альтернативой таким коммерческим и закрытым системам, как СУБД Oracle и СУБД Microsoft SQL Server [5].

СУБД MySQL представляет собой многопроцессорную, высокопроизводительную многопользовательскую СУБД, которая построена с использованием клиент/сервер архитектуры. Разработанная СУБД стала за последние несколько лет одной из наиболее популярных программных приложений, работающих с базами данных с использованием возможностей Internet прежде всего для обеспечения скорости и стабильности. Сегодня создаются и используются приложения, работающих с MySQL, более чем в 4 млн. Web-узлов. И, как утверждается на официальном Web-узле MySQL <http://www.mysql.com> это число постоянно растет.

СУБД MySQL состоит из двух следующих компонентов:

- *Инструментарий сервера.* Он содержит сервер базы данных MySQL, который является основным механизмом, отвечающим за управление и

создание базами данных, обработку запросов, возвращение результатов запросов и обеспечивает безопасность. Также, он включает в себя определенные инструменты, необходимые для обеспечения работы параллельных MySQL-серверов, восстановления и оптимизации таблиц СУБД MySQL, создания журналов ошибок.

- *Инструментарий клиента.* Он включает в себя механизм обеспечения прав пользователя MySQL, клиент MySQL, работающий с командной строкой, утилиты для импорта и экспорта баз данных MySQL. Также включает в себя утилиты, необходимые для просмотра и копирования баз данных, обработки таблиц, таблиц MySQL из командной строки и отображения данных о состоянии сервера.

При создании СУБД MySQL разработчики руководствовались тремя фундаментальными основами: высокая надежность, высокая производительность, и простота использования.

Наиболее приоритетные возможности СУБД MySQL показаны ниже:

Скорость

Скорость в реляционных СУБД — это время возвращения результатов обработки запроса пользователю и выполнения запроса.

Производительность СУБД.

Частично причина высокой производительности СУБД MySQL кроется и в ее многопоточной архитектуре, позволяющей выполнять параллельный доступ большому количеству пользователей к базе данных. Эта многопоточная архитектура является базовым механизмом. СУБД MySQL позволяет осуществлять одновременное чтение из одной и той же базы данных нескольким клиентам, обеспечивая при этом серьезный прирост производительности.

Надежность

Что касается СУБД, то высокая надежность ценится даже выше, чем производительность и скорость выполнения. О СУБД MySQL можно сказать, что система строилась из расчета предоставления наибольшей готовности и надежности, она была протестирована с применением критических приложений,

обрабатывающих огромное количество данных. ПО тестируется на самых разных платформах. В программном коде быстро обнаруживаются и удаляются ошибки благодаря большому количеству пользователей СУБД MySQL по всему миру.

Простота использования.

Программное обеспечение поддерживается большим количеством бесплатных руководств, которые можно найти в сети Internet.

СУБД MySQL элементарна в настройке и имеет потенциал оптимизации в отличие от своих коммерческих аналогов, которые имеют сотни настраиваемых параметров.

Поддержка многопользовательской работы

СУБД MySQL является полновесной многопользовательской системой, т.е. несколько клиентов могут получить доступ и работать с одной (или более) базой данных MySQL. Это стало особенно важным вследствие широкого распространения Web-приложений. СУБД MySQL также снабжена мощной и гибкой системой привилегий, позволяющей администраторам, на основании данных о пользователе и об узле, с которого происходит соединение, защищать доступ к критическим данным с использованием схем аутентификации.

Масштабируемость

СУБД MySQL имеет возможность работы с предельно сложными и большими базами данных, причем без какой-либо потери производительности. Таблицы объемом несколько гигабайтом, содержащие сотни тысяч записей, встречаются достаточно часто, а недавно было заявлено, что Web-узел, построенный на MySQL, может работать с базами данных, содержащими десятки миллионов записей.

Переносимость

СУБД MySQL существует как в версии, предназначенной для UNIX-платформ, FreeBSD, OS/2, ОС Linux, MacOS, Wmdows NT, 95, 98, ME, 2000, XP. Она поддерживает самые различные аппаратные конфигурации, начиная с устаревших 386-х процессоров и заканчивая самыми современными машинами Pentium и работает на самых различных аппаратных платформах.

Широкая поддержка приложений

СУБД MySQL оснащена интерфейсами программирования приложений (API) для многих языков программирования, т.о. делая возможным создание приложений с использованием любого другого языка программирования. В настоящее время СУБД MySQL обеспечивает работу с языками C++, C, ODBC, PHP, Python, Java, Tel.

Открытый код

Код находится в открытом доступе под лицензией GPL.

Пользователи имеют полное право загружать исходные коды и вносить в них любые изменения, причем они могут использовать их совершенно бесплатно. Данная политика открытого доступа к коду явилась одной из причин популярности СУБД MySQL, в результате было сформировано активное всемирное сообщество пользователей и разработчиков-энтузиастов MySQL. На данный момент времени СУБД MySQL сохраняет свои лидирующие позиции благодаря деятельности этого сообщества.

2.5. Выводы

В процессе системного анализа процессов и операций обработки информации в испытательной лаборатории радиационного контроля разработаны следующие модели:

- функциональные модели в нотации IDEF0, а именно диаграмма верхнего уровня A0, декомпозиции первого уровня блока контекстной диаграммы (A1, A2, A3, A4);
- функциональная модель в нотации DFD, представляющая из себя преобразование входных потоков данных в выходные в соответствии с определенным алгоритмом;
- функциональная модель в нотации IDEF1X, включающая в себя схему основного хранилища данных (о пробах, счетных образцах и результатах измерений) и дополненная справочными таблицами.

На основе разработанных информационных моделей процессов обмена информацией была разработана объединенная база данных для централизованного хранения рабочих журналов в ИС ИЛРК.

Обоснован выбор СУБД в качестве СУБД MySQL. Данная система управления представляет собой высокопроизводительную многопроцессорную, многопользовательскую СУБД, построенную с использованием архитектуры клиент/сервер.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АТТЕСТОВАННЫХ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЙ

Методика выполнения измерений – основополагающий документ испытательной лаборатории в различных областях проведения испытаний, представляющий собой чёткий алгоритм, максимально информативно описывающий операции выполнения измерений и регулирующий процесс определения установленных параметров определенного объекта с необходимой точностью.

Методика необходима в случаях, когда выискиваемые параметры определяются косвенным методом, по сложной технологии, а также с применением комплексных программно-аппаратных средств. Применяемые в сфере государственного регулирования методики, согласно 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений», подвергаются обязательной аттестации, в порядке, определяемом органом Росстандарта. С иной стороны, действие закона не распространяется на случаи, когда данные получают прямыми измерениями с помощью поверенных и утвержденных в установленном порядке технических средств. Здесь вполне достаточно общих сведений и знаний из инструкции или руководств на эксплуатацию на конкретное СИ.

МВИ, помимо общие информации об области применения, нормативной базе, оформлении отчетной документации, обозначений и определений в тексте содержат обязательные разделы, описывающие требования к точности получаемых результатах измерений, характеристикам и перечню используемых СИ, составу, квалификации и численности персонала, , а также оговаривающие меры по охране окружающей среды, требования безопасности выполнения работ, и чисто технологические аспекты, как то: подготовительные мероприятия, условия, методы, процесс и обработку полученных данных, включая контроль их достоверности. В состав МВИ включаются также и необходимая справочная информация в форме приложений.

3.1. Структурная модель операций в методиках выполнения измерений

Методики выполнения измерений в ИЛРК АО «ВНИИХТ», упомянутые в параграфе 1.4. Главы 1, устанавливают методы и алгоритмы измерения удельной или объемной активности радионуклидов в счетных образцах, изготовленных из проб минерального сырья и материалов с повышенным содержанием радионуклидов, в том числе урановых материалов, и объектов окружающей природной среды, с применением СИ, определяемыми методом анализа.

МВИ применяются при радиационном контроле воды, почвы, донных отложений, минерального сырья и продуктов его переработки, а также твердых и жидких урановых материалов, таких как оксиды, фториды, нитраты и др.

Общие требования МВИ к содержанию, выполнению измерений, правилам вычисления и сопоставления результатов соответствуют ГОСТ Р 8.563-96, ОСТ 95 592-86, ОСТ 95 596-86, ОСТ 95 10353-88, ОСТ 95 10430-90.

Таблица 14. Структурная таблица информационной модели операций в методиках выполнения измерений.

№	Наименование операций в методиках выполнения измерений
1.	Установление области применения конкретной методики в соответствии с предстоящим методом и объектом анализа.
2.	Соблюдение техники безопасности в соответствии с утвержденными инструкциями, нормами и правилами.
3.	Допуск к выполнению операций согласно МВИ исключительно квалифицированного персонала.
4.	Определение с помощью поверенных СИ (термометр, барометр и др.) рабочих условий эксплуатации СИ и вспомогательного оборудования, изложенных в технической документации.
5.	Изготовление счетных образцов в соответствии с «Инструкцией по изготовлению счетных образцов из проб

	объектов окружающей и технологических сред»
6.	Подготовка СИ к выполнению измерений в соответствии с инструкцией по эксплуатации
7.	Процедуры выполнения измерений счетных образцов
8.	Выполнение операций по обработке результатов измерений.

В следующем параграфе данной главы будут подробно рассмотрены алгоритмы операции № 7-8 информационной модели операций в методиках выполнения измерений.

3.2. Алгоритм обработки данных радиационного контроля в программном обеспечении спектрометрических средств измерений

В параграфе 1.5 Главы 1 данной исследовательской работы рассматривался аппаратно-программный комплекс. В лаборатории имеется комплекс приборов, предназначенных для α , β и γ -измерений – альфа и гамма спектрометры, счетное радиометрическое оборудование.

Процедуры № 7-8 информационной модели операций в методиках выполнения измерений выполняются с помощью специального программного обеспечения (Spectraline GP, ADA), описанных подробно в параграфе 4.3. Главы 4, поставляемого совместно с спектрометрическими средствами измерений. Рассмотрим алгоритм обработки спектров в СПО для обработки альфа спектров, показанном на Рисунке 25.

Алгоритм создан на параметрическом представлении линий альфа - спектра. Спектр нестабильного изотопа каждой энергетической альфа - линии описывается функцией, представляющей сочетание асимметричного распределения Гаусса, гиперболы и экспоненты, которые связаны между собой условием непрерывности функции и её производной. Такая модель описывает альфа-спектр как «толстых» так и достаточно «тонких», источников, и хорошо показала себя при работе с альфа - спектрами, измеренными с помощью ППД – детекторов.

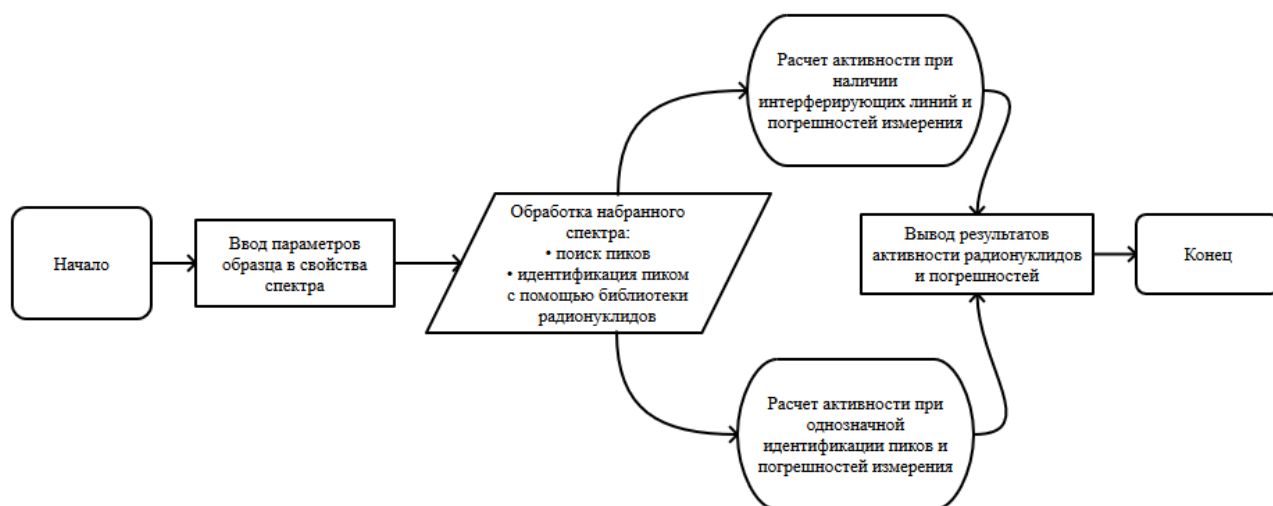


Рисунок 25. Алгоритм обработки данных в программном модуле расчета активности СПО, входящего в состав спектрометрических средств измерений

Для зрительной оценки качества подгонки результаты формируются в виде отчета и отображаются на графике в виде спектров отдельных радионуклидов.

В модуле расчета содержится две модели обработки спектров: модельная функция и метод поиска решения. Обе модели настраиваются под определённый класс приборов и требуют вмешательства только при перенастройке на приборы со специфическими параметрами (например, на безвакуумные альфа - спектрометры из-за значительно худшего разрешения). Как правило, категория параметров Энергетическая калибровка настраивается один раз на конкретный прибор.

В настройках модельной функции можно либо жёстко установить значения параметров этой функции без возможности изменения в процессе обработки, либо указать диапазоны, в пределах которых в процессе обработки параметры будут определяться автоматически для максимально большего совпадения модельной функции и спектра пробы.

С помощью метода поиска решений можно выбрать стандартные для разработчиков параметры градиентного метода оптимизации функций. Метод оптимизации, основанный на генетических алгоритмах, в настоящее время отключен в программном обеспечении Spectraline ADA.

В связи с природой альфа излучения проявляется особая сложность в обработке спектров низкоактивных проб, разобранная в следующем параграфе.

3.3. Формализация расчета активностей радионуклидов в низкоактивных пробах

Большое количество проб, поступающих в ИЛРК имеют характер экологического мониторинга. Активность определяемых радионуклидов в анализируемых пробах находится на фоновом уровне. Суть метода определения активности радионуклида в пробе с радиохимической подготовкой для альфа спектрометрии заключается в том, чтобы с помощью физико-химических операций выделить конкретный определяемый радионуклид из совокупности других радионуклидов на подложку из нержавеющей стали электролитическим способом с добавлением так называемой метки, радионуклида с известной активностью.

Алгоритмы и модули расчетов обработки информации спектров в СПО, входящем в состав средств измерения, не в состоянии адекватно описывать пики определяемого радионуклида в низкоактивных пробах, в связи с малым количеством импульсов в характерном для определяемого радионуклида энергетическом диапазоне, и, следовательно, корректно рассчитывать активности и погрешности измерений.

Была поставлена задача по разработке алгоритма обработки информации спектров в низкоактивных пробах.

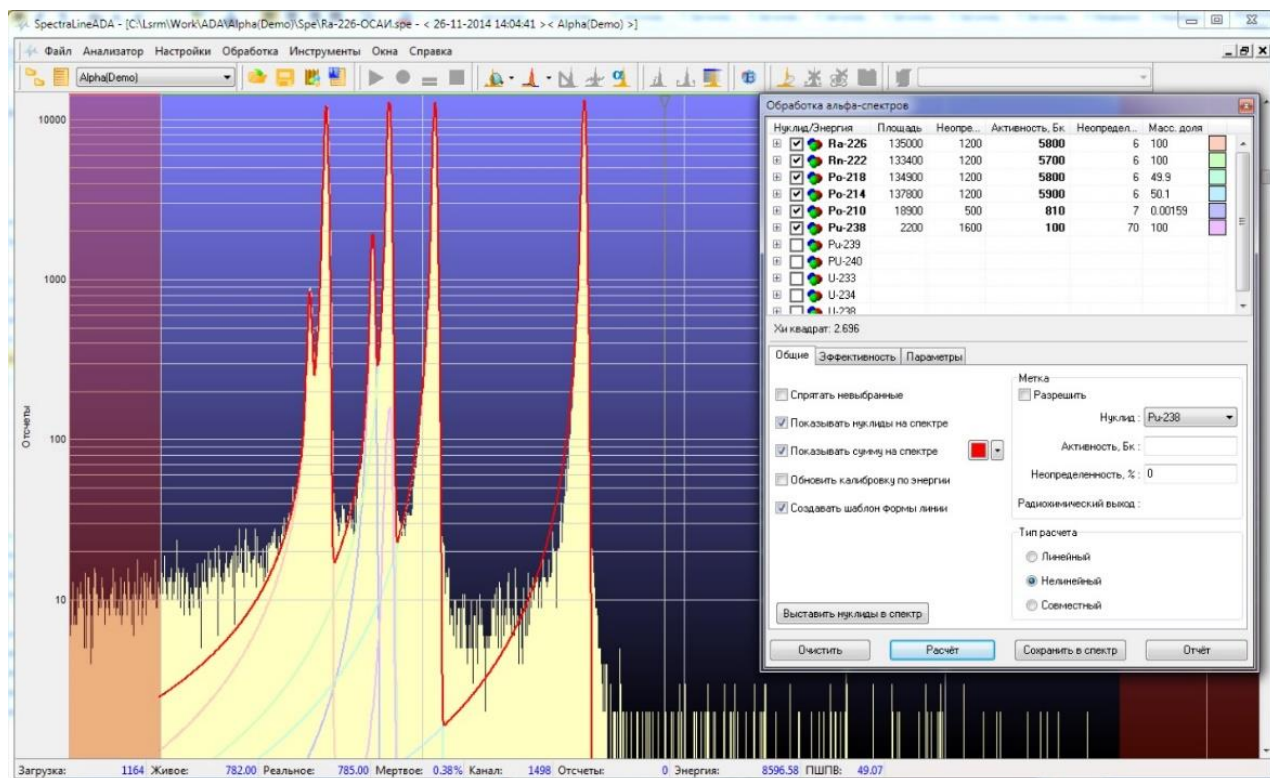


Рисунок 26. Обработка спектров программой Spectraline ADA с высокой активностью

3.4. Разработка алгоритма обработки данных в измерениях низкоактивных проб

Основной задачей для разработки алгоритма обработки данных в измерениях низкоактивных проб было определение последовательности операций и математическая обработка результатов измерений.

Вначале, оператор, основываясь на табличных данных, взятых из базы данных по параметрам распада, построенной на основе ENSDF – файла (Evaluated Nuclear Structure Data File) и содержащей информацию свыше 3000 радионуклидов (включая метастабильные состояния) вручную выделяет характеристические энергетические диапазоны определяемых радионуклидов с оценкой вероятностного смещения энергетической шкалы.

Информация о радионуклидах включает:

- интенсивности и энергии гамма- и альфа- линий;
- уровней энергий;
- типы распада;
- периоды полураспада радионуклидов;

- энергии рентгеновских линий и их интенсивности на основе получаемых данных Брукхейвенской лаборатории;
- энергии и интенсивности бета-переходов;
- коэффициенты конверсии/

Далее, оператор, основываясь на полученных данных о количестве пиков в выделенных областях с помощью СПО, входящего в состав средств измерений, вводит все необходимые данные в программу расчета результатов измерений, основанной на МВИ. Модуль расчета с графической оболочкой встроен в программу обработки данных радиационного анализа [13, 33].

После расчета активностей погрешностей радионуклидов в счетных образцах, оператор заносит полученную информацию в базу данных.

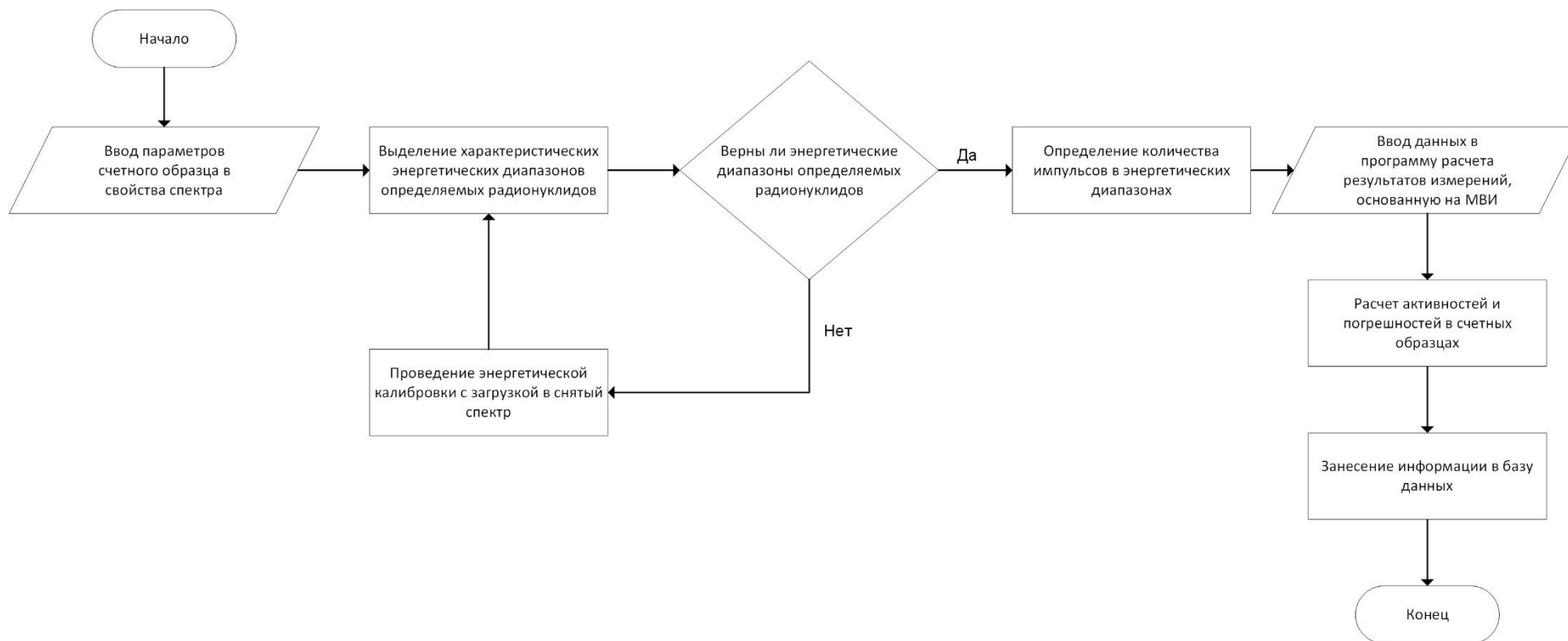


Рисунок 27. Алгоритм обработки данных в измерениях низкоактивных проб

3.5. Выводы

В процессе анализа структурной модели операций в методиках выполнения измерений, описывающей все этапы выполнения измерений и алгоритма обработки данных радиационного анализа в программах, входящих в состав средств измерений выявлено невозможность адекватного описания пиков определяемых радионуклидов в низкоактивных пробах, в связи с малым количеством импульсов в характерном для определяемого радионуклида энергетическом диапазоне, и, следовательно, корректно расчёта активности и погрешности измерений. Был разработан алгоритм обработки данных радиационного анализа в низкоактивных пробах. Предложенный алгоритм реализован в модуле расчета результатов измерений с графической оболочкой.

ГЛАВА 4. «РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ АО «ВНИИХТ»

4.1. Назначение и архитектура информационной системы

Информационная система - это система, воплощающая информационную модель конкретной области, которая была предложена во второй главе данного исследования. Из основных функций любой информационной системы можно выделить следующие:

- получение (ввод или сбор) информации,
- хранение информации,
- поиск информации,
- передача информации,
- обработка информации.

Информационной или информационно-вычислительной системой называют множество взаимосвязанных аппаратурно-программных средств для автоматизации обработки информации. Данные в информационную систему поступают от источников информации. Эти данные переходят на хранение, либо трансформируются в системе и затем передаются пользователю.

Информационная система включает в себя источник информации, аппаратную и программную составляющую ИС.

На Рисунке 28 изображена аппаратная часть информационной системы радиационного контроля АО «ВНИИХТ». Она представляет собой совокупность ЭВМ, объединенных в одну ЛВС.

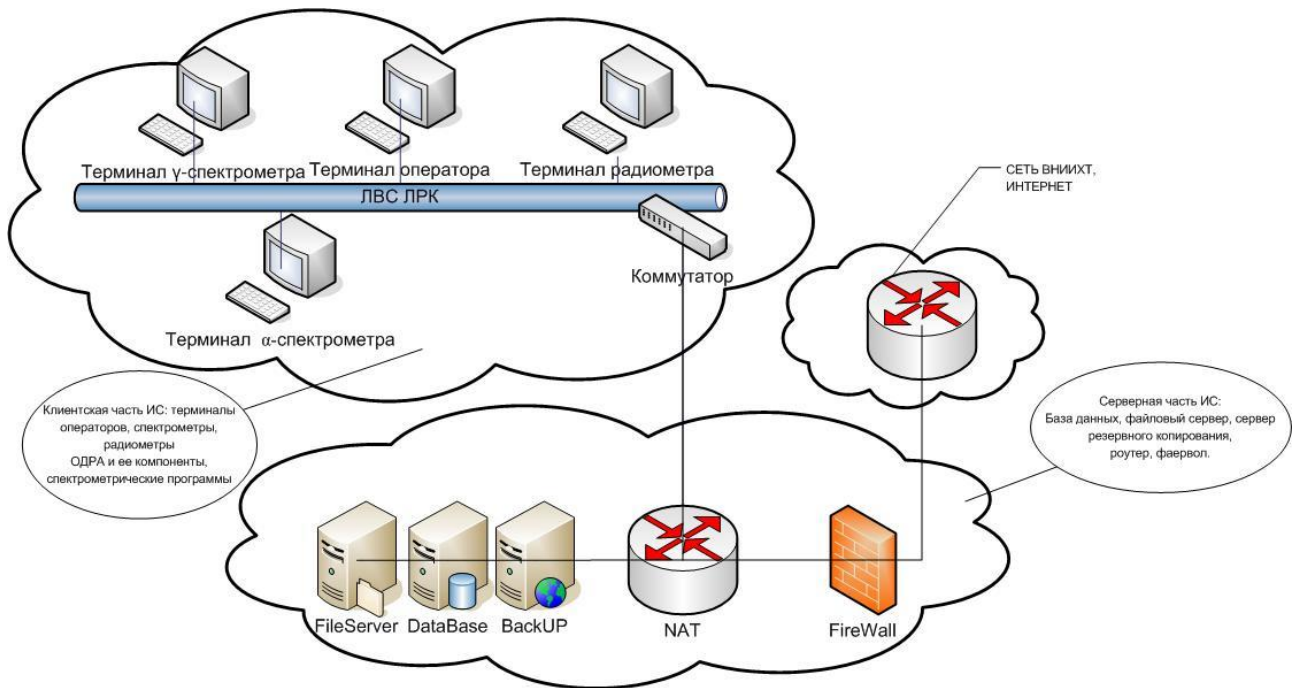


Рисунок 28. Аппаратная часть информационной системы радиационного контроля АО «ВНИИХТ»

На Рисунке 29 изображена Программная часть информационной системы радиационного контроля АО «ВНИИХТ», состоящая из двух составных частей: Серверных и клиентских приложений.

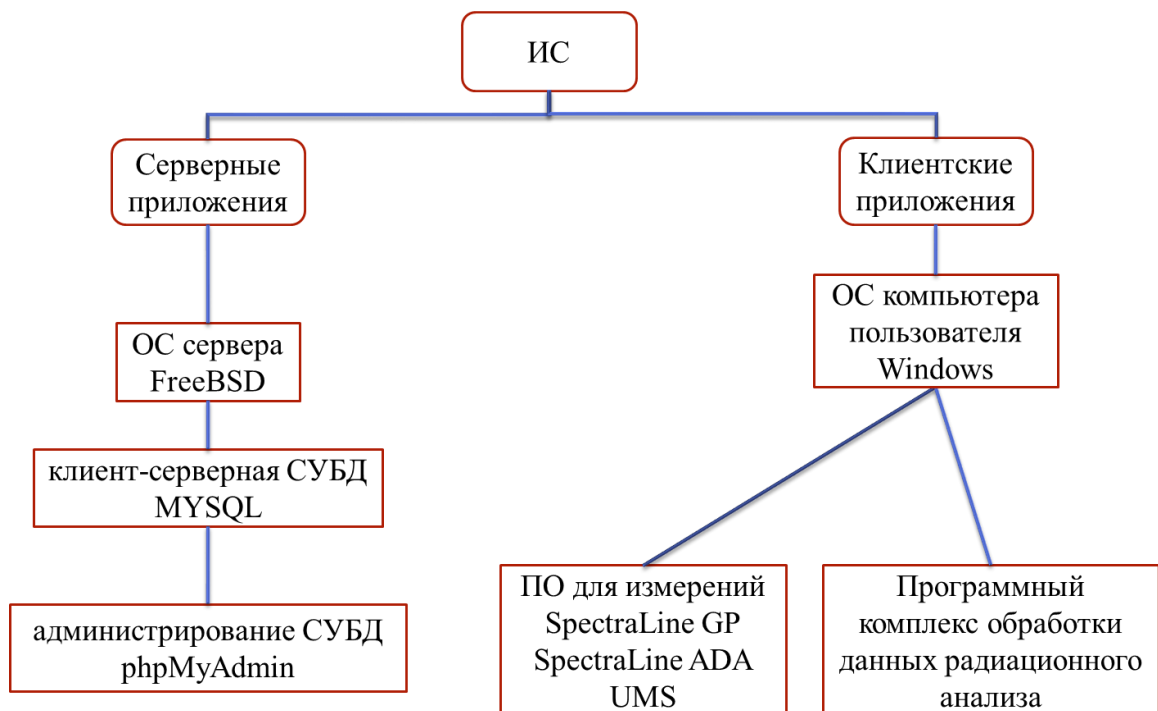


Рисунок 29. Программная часть информационной системы радиационного контроля АО «ВНИИХТ»

4.2. Серверные приложения

Серверные приложения. Серверные приложения включены следующие компоненты, представленные на рис. 29. В них входят следующие программные средства:

В качестве серверного ПО была выбрана ОС FreeBSD. Выбор ОС обусловлен тем, что она предоставляется по свободной лицензии BSD, следовательно, не требует материальных затрат [57].

На данной ОС были установлены приложения, необходимые для ее нормального функционирования. Основной программой является клиент-серверная система управления базами данных (СУБД)- MySQL, которая работает с программой обработки данных радиационного анализа, обрабатывая ее запросы и хранит данные. Данная программа была разработана в среде разработки Microsoft Visual Studio 2010 на объектно-ориентированном языке C# и подробно описана в Главе 3 данной работы.

Администрирование СУБД осуществляется веб-приложением phpMyAdmin (Рисунок 30). Программа распространяется с открытым кодом, написана на языке PHP, позволяет запрашивать информацию от команд SQL и смотреть содержимое таблиц в базе данных. У веб-разработчиков приложение пользуется широкой известностью, поскольку дает возможность администрировать СУБД MySQL без прямого ввода SQL команд.

Также в состав серверных приложений входят:

- СУБД MySQL с базой данных на основе разработанной структуры, хранящей весь спектр сведений о пробах лаборатории;
- файловое хранилище данных «Samba 3.0», в котором собраны массивы данных для файлового обмена внутри лаборатории, а также содержится весь комплекс внешних данных, реализуемый программой;
- программы резервирования и архивирования БД «rsync», а также важных информации файлового хранилища. Её непосредственной задачей является создание резервную копию данных раз в сутки для гарантии сохранности всей информации в ИС ИЛРК;

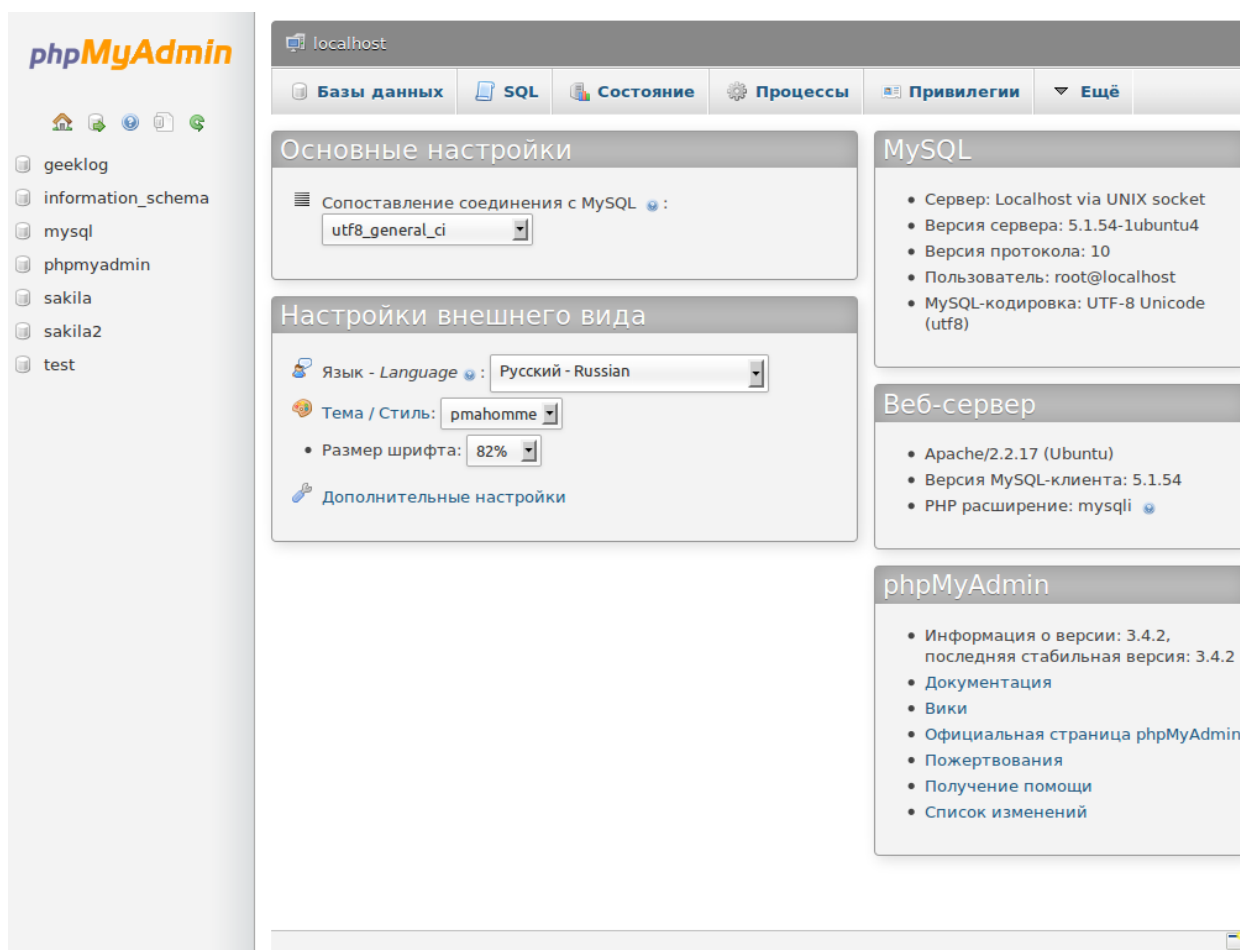


Рисунок 30. Окно настроек веб-приложения phpMyAdmin

- антивирусное ПО «ClamAV», отслеживающее распространение зараженных файлов во всем объеме файлового хранилища и их своевременное удаление;
- программы- Firewall IPFW и NAT, защищающие ЛВС ИЛРК от внешних несанкционированных проникновений в систему и обеспечивающие непосредственный доступ к сети internet института.

Нужно отметить, что при потребности избыточной безопасности хранящихся в ИС данных допустимо включение дополнительных серверов для синхронизированного копирования всей системы, что делает систему более отказоустойчивой при воздействии неблагоприятных внешних факторов [29].

4.3. Специальное программное обеспечение для обработки информации в α , β и γ -измерениях

Клиентская часть ИС состоит из ОС, СПО для α , β и γ -измерений и разработанной программой «ОДРА». В операторских терминалах в качестве ОС используется MS Windows. Выбор данной ОС обусловлен широкой распространенностью и тем, что уже задействован в работе по обработке и анализу спектров с помощью аппаратного оборудования. Для работы программы «ОДРА» на выбранной ОС необходимо установить .NET Framework 4.0 — программную платформу, выпущенную компанией Microsoft в 2010 году. NET Framework поддерживает создание программ, написанных на разных языках программирования. Программа «ОДРА» настраивает соединение с сервером MySQL посредством указания IP адреса и порта. На основе клиент-серверной структуры универсальность программы позволяет запускать ее на любом ПК или станции измерения, что делает систему более отказоустойчивой [38].

В ИС используется ПО для интерпретации, анализа, обработки, хранения данных и для обратной связи с компонентами измерительного оборудования:

SpectraLine GP (Gamma Precision)

SpectraLineGP предназначена для организации спектрометрических измерений и прецизионной обработки гамма – спектров.

Обработка включает процедуры калибровки, идентификацию радионуклидов, нахождение параметров пиков, расчет активностей и учет поправок на истинное суммирование для последующей коррекции интенсивности гамма-излучений. (Рисунок 31) SpectraLineGP позволяет подключать внешние программы и позволяет в качестве вспомогательного инструмента использовать для реализации пользовательских методик решения нестандартных спектрометрических задач [58].

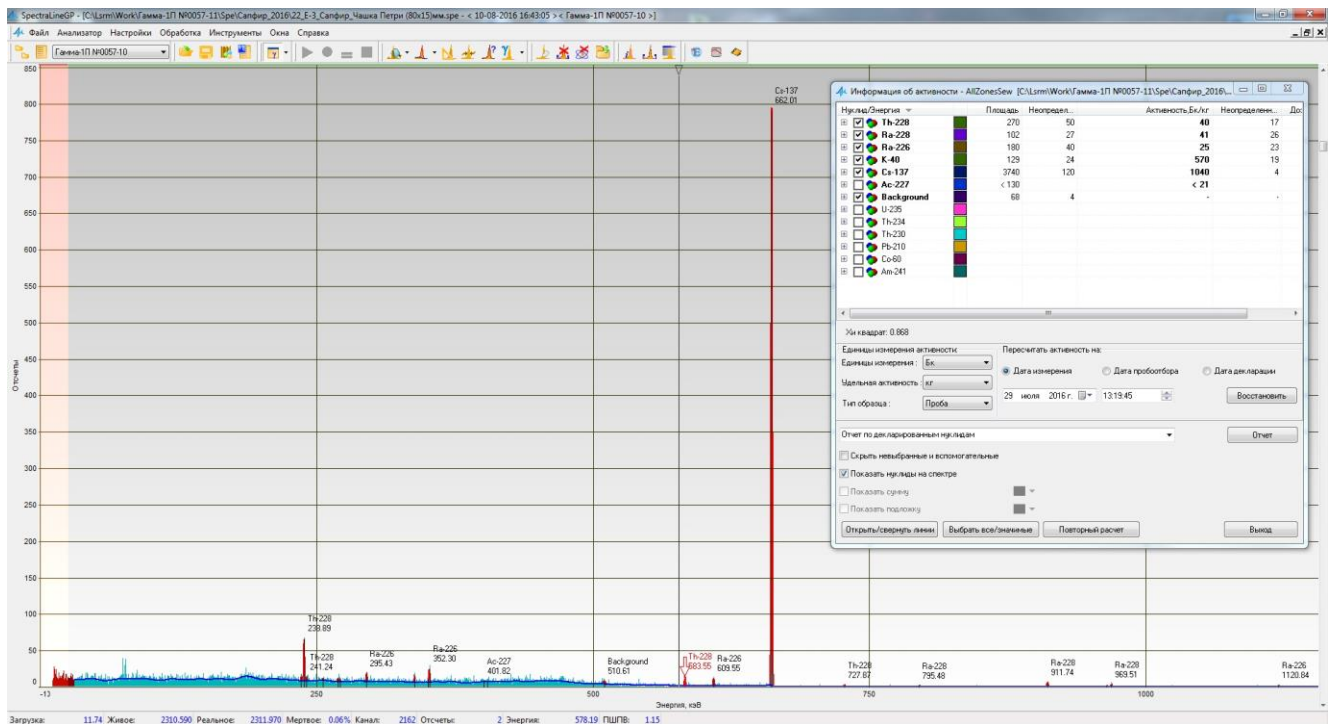


Рисунок 31. Основное окно программы SpectraLineGP

Программа позволяет:

- ✓ Выполнять с необходимым уровнем обнаружения автоматический поиск пиков;
- ✓ Осуществлять калибровки по полуширине, энергии, по форме пика;
- ✓ Рассчитывать свойства пиков – площадь; положение, полуширину, сохранять результаты расчета в текстовом файле;
- ✓ Получать аппроксимирующие “кривые”, выполнять калибровку по эффективности;
- ✓ Для последующей коррекции интенсивности гамма-излучений учитывать поправки на истинное суммирование;
- ✓ Сохранять результаты обработки и измеренные спектры в базе данных для анализа на сходимость по заданным критериям в многократных измерениях;
- ✓ Использовать несколько пиков спектра из разных энергетических диапазонов при калибровке по форме, обрабатывать одновременно произвольное число спектров;

- ✓ Осуществлять визуальный и количественный контроль за качеством калибровок;
- ✓ Подключать определенное количество измерительных каналов;
- ✓ По всем измерительным каналам, производить одновременную визуализацию и накопление спектров, подключенным к ПК;
- ✓ Выполнять настройку параметры АЦП;
- ✓ Осуществлять удаленный доступ по сети (при условии поддержки драйверов устройств SCAR);
- ✓ Работать с оборудованием различных производителей спектрометрического оборудования.

Активность радионуклидов в программе SpectralineGP рассчитывается по всем линиям предпологаемо присутствующих радионуклидов.

В качестве погрешности активности нуклида принимается максимальное значение из погрешности разброса (активностей, оцененных по одной линии) и расчетной оценки для метода расчета.

Одним из важных моментов при проведении расчета активности является степень идентификации пиков в спектре. Она может быть однозначной, т.е. каждому пику соответствует не более одной библиотечной линии, и неоднозначной, когда пику может соответствовать несколько библиотечных линий

Проводится процедура идентификации предварительно обнаруженных пиков. Выставляются в спектр необнаруженные поиском линии идентифицированных нуклидов, производится переразметка и переподгонка спектра с учетом выставленных линий, вычитается фон. Матричным методом проводится окончательный расчет активности.

Эта процедура используется, когда вклад в площадь пика обусловлена несколькими линиями:

$$S = A_1 \cdot Y_{1i} + A_2 \cdot Y_{2i} + \dots + A_m \cdot Y_{mi} \quad (3.1)$$

где S – площадь пика;

A_m – активность m -го радионуклида;

Y_m – интенсивность линии m-го радионуклида.

$$\chi^2(\bar{A}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (S_i - \sum_{j=1}^m A_j \cdot Y_{ji})^2 \cdot W_i \quad (3.2)$$

где n – количество пиков, участвующих в расчете;

m – количество идентифицированных радионуклидов;

$Y_{ij} = I_{ij} \cdot \varepsilon(E_{ij})$ – интенсивность (с учетом эффективности регистрации) линии j -го радионуклида, которая попадает в i -ый пик (Y_{ji} равны 0 для несовпадающих с пиком линий);

W_i – веса, учитывающие погрешности площади пика и выходов линий:

$$W_i = (\Delta S_i)^2 + \sum_j (\bar{A}_j \cdot \Delta Y_{ij})^2 \quad (3.3)$$

Минимизация этого функционала сводится к решению системы линейных уравнений:

$$\hat{P} \cdot \bar{A} = \bar{Q} \quad (3.4)$$

$$\text{Здесь } P_{ij} = \sum_{k=1}^n Y_{ik} \cdot Y_{kj} \cdot W_k, \quad (3.5)$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^n Y_{ik} \cdot S_k \cdot W_k. \quad (3.6)$$

Решение этой системы, использующее обращение матрицы \hat{P} , осуществляется методом Холецкого, где производится треугольное разложение матрицы \hat{P} .

Обращение матрицы \hat{P} позволяет вычислить погрешности значений активностей.

Основопологающим значением в расчете активностей радионуклидов в стандартных геометриях уделено калибровке по эффективности регистрации.

В программе предусмотрена возможность измерения активности в разных геометриях. Под геометрией измерения понимается геометрические размеры (форма) образца, масса (плотность) и положение образца относительно детектора. Для каждой геометрии предварительно должна быть проведена калибровка по эффективности, т.е. построена зависимость эффективности регистрации от

энергии. Исключение составляет плотность образца. Из эффективности, определенной для одной плотности образца, может быть рассчитана эффективность для другой плотности.

Эффективность регистрации измеряется с помощью эталонных источников, аттестованных по активности, в нужной геометрии. Эффективность для данной энергии i E рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon(E_i) = \frac{S_i}{A \cdot I_i \cdot t} \quad (3.7)$$

где A – активность эталонного источника;

I_i – интенсивность линии с энергией E_i ;

S_i – площадь соответствующего пика;

t – время измерения.

Для получения зависимости эффективности регистрации от энергии полученные значения $\varepsilon(E_i)$ аппроксимируют какой-либо зависимостью. Таким образом, для построения эффективности регистрации необходимо:

- создать файл паспортов эталонных источников;
- измерить спектры эталонных источников;
- рассчитать площади реперных линий S_i в измеренных спектрах;
- рассчитать эффективности регистрации для каждой линии;
- аппроксимировать значения эффективности.

В случае, когда материал и плотность калибровочных источников и измеряемых проб различаются, вводится поправка на различие в самопоглощении в этих источниках.

Пусть плотность объемного источника, с помощью которого была получена калибровочная характеристика по эффективности регистрации, была ρ_0 (г/см³), а плотность измеряемой в той же геометрии пробы ρ . Тогда эффективность регистрации $\varepsilon_\rho(E)$ при расчете активности должна быть скорректирована следующим образом:

$$\varepsilon_\rho(E) = \varepsilon_{\rho_0}(E) \cdot e^{(\rho\mu(E) - \rho_0\mu_0(E)) \cdot d_{эфф}} \quad (3.8)$$

где $\mu(E)$ - массовый коэффициент поглощения гамма-квантов с энергией E , $\text{см}^2/\text{г}$;

$d_{\text{эфф}}$ – эффективная толщина измеряемой пробы, примерно соответствует половине толщины образца. Для разных геометрий она подбирается для лучшей коррекции кривых эффективностей регистрации, используя источники с разными материалами и с аттестованной активностью [39].

SpectraLineADA (Alpha Decay Analysis).

SpectraLineADA предназначена для альфа-спектрометрического анализа со спектрометрами как на основе ППД-детекторов, так и на основе ионизационных камер (Рисунок 32).

Программный комплекс SpectraLineADA (Alpha Decay Analysis) дополнен модулем расчета активности для альфа-спектров. ADA является развитием программы SpectraLine семейства Lsrn2005. Она поддерживает все сервисные и функциональные современные реализации и дополнена модулем расчета активности альфа-спектров (модуль расчета активности альфа-спектров разработан МосНПО "Радон"). Спектр, представляющий сочетание асимметричного распределения Гаусса, гиперболы и экспоненты, связанных между собой условием непрерывности функции и её производной каждой энергетической линии альфа — излучающего изотопа описывается функцией. Параметры значения активности и модели рассчитываются из условия минимума модифицированного — функционала. Обусловленной сложением импульсов от альфа-частиц и конверсионных электронов, в число варьируемых включены параметры деформации спектра. Результаты обработки отображаются на экране и формируются в виде отчета. Форма отчета задается пользователем. Для визуальной оценки качества подгонки результаты подгонки в виде спектров отдельных радионуклидов отображаются на графике спектра. Форма линии, полученная в результате минимизации, может быть сохранена и использована для анализа спектра традиционными для SpectraLine методами. Реализованы функции работы с внесенной меткой и определения эффективности регистрации.

Измеренные спектры и результаты обработки могут быть сохранены в базе данных. Это позволяет организовать анализ многократных измерений на сходимость по заданным критериям [58].

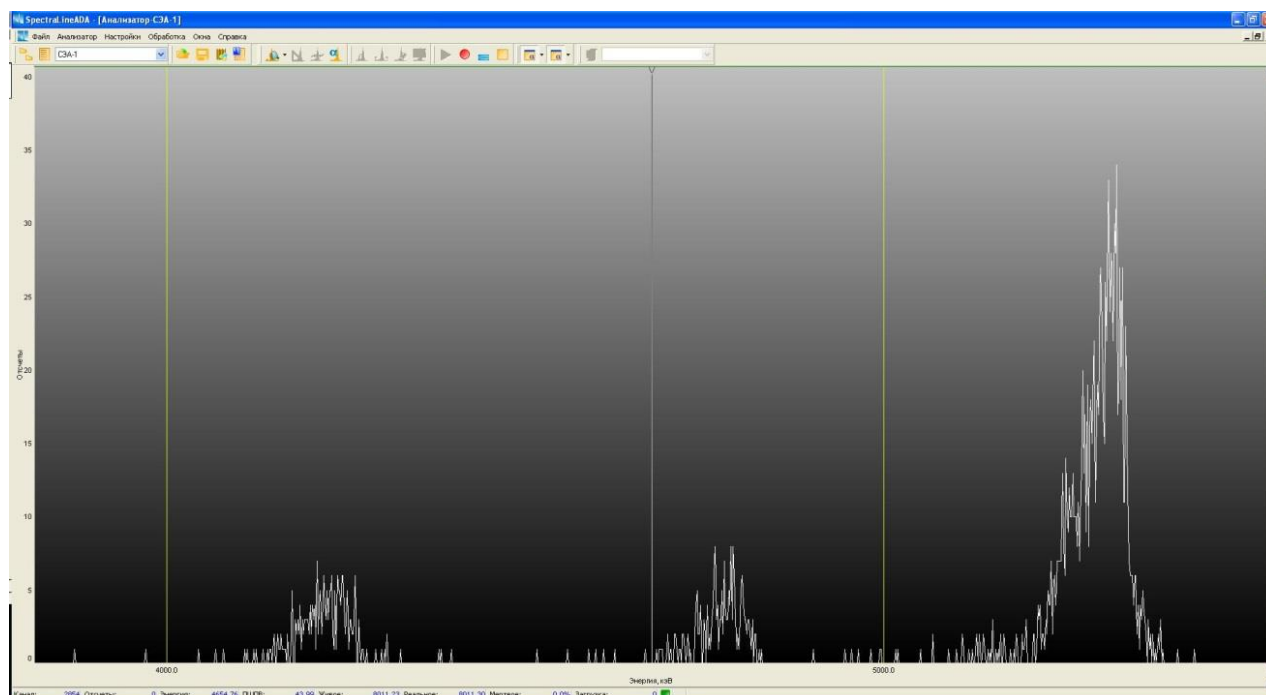


Рисунок 32. Основное окно программы SpectraLineADA

Основные особенности ПО SpectraLineADA:

- ✓ обработка альфа-спектров как источников в различных геометриях
- ✓ поправки для тонкой структуры альфа спектров
- ✓ параметрическое задание формы линии
- ✓ учет вклада конверсионных электронов
- ✓ расчет активности по внесенной «метке»

UMS – ПО, входящие в состав радиометра альфа-бета излучений, предназначено для автоматических измерений потоков альфа и бета излучений (Рисунок 33).

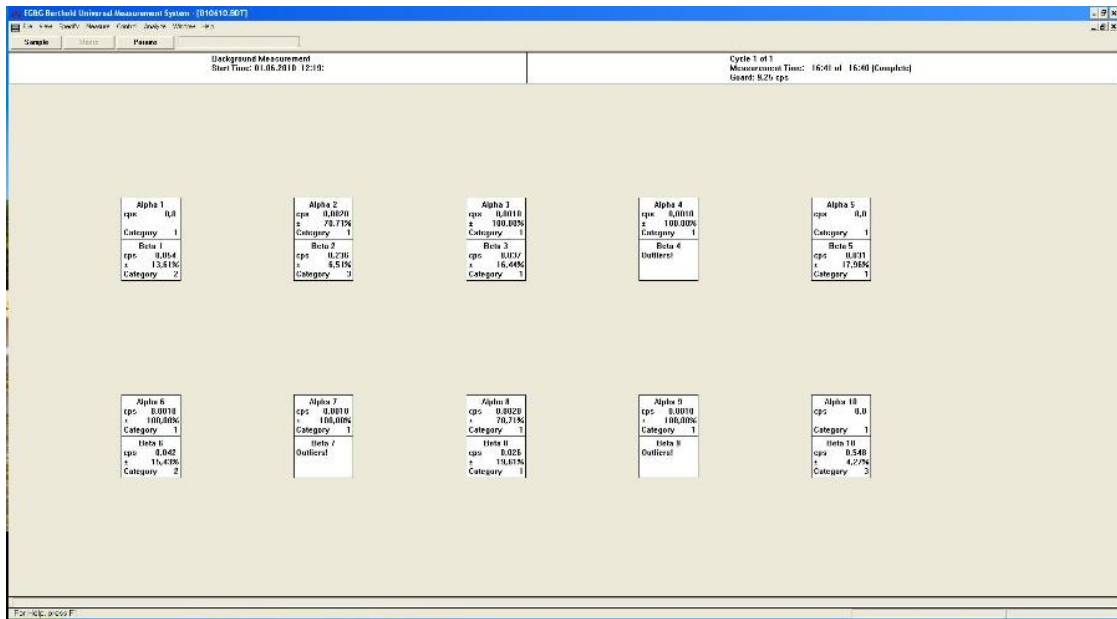


Рисунок 33. Основное окно программы UMS

Следует также отметить, что СПО непрерывно совершенствуется, добавляются новые возможности, улучшаются имеющиеся процедуры, обеспечивается совместимость с новыми версиями ОС.

4.4. Программа обработки данных радиационного контроля

Программа обработки данных радиационного анализа разрабатывается на объектно-ориентированном языке C# в среде разработки Microsoft Visual Studio 2010.

№ пробы	Название организации	Тип пробы	Место отбора	Вес/объем	Вид анализа	Результаты	№ протокола	Дата поступления	Примечание
1805	ПООС	Жидкая	Колодец № 29	2л	Pu				тестовая запись
1811	ПООС	твердая	Вентиляционная шахта №20	0,5 кг	Pu				тестовая запись
1815	Якутское месторождение	Вода	Место №2	2л	U, Pb, Th				тестовая запись
1816	Якутское месторождение	Травяной покров	Скважина №10	1кг	Польный анализ	Найдено наличие Pb-210	10123		тестовая запись

Рисунок 34. Экранная форма главного окна программы

Программа связывается по протоколу TCP/IP с MySQL на удаленном сервере. Настройки для подключения к серверу и базе данных находятся в программе. Там указывается IP адрес, порт, логин и пароль к базе, а также имя базы. Для подключения программы к MySQL используется MySQL Connector/NET 5.1. Программа предназначена для регистрации проб и образцов в

базе данных, с последующим добавлением информации о пробах, обработке результатов включенными в программу методами, и формировании выходных отчетов которые включают данных о активности пробы по разным нуклидам.

Графический интерфейс пользователя программы выполнен в простой форме. (Рисунок 34). В нем присутствуют меню:

- Добавить – меню для добавления в БД новой пробы\диска или добавление в БД дополнительных данных о измерении. Пример экранной формы приведен на Рисунке 35.

Рисунок 35. Экранные формы добавления новых проб и дисков к пробам

- Просмотр БД – просмотр всей БД с необходимой информацией (вид БД настраивается в подменю настройка в меню сервис).
- Обработка – вызывает окно для обработки выбранных проб с занесением результатов в БД.

Программный модуль для расчета активностей и погрешностей определяемых радионуклидов для низкоактивных образцов.

Рассмотрим подробнее меню «Обработка» основного окна программы обработки данных радиационного анализа. В этом меню содержится комплекс программ для расчета и корректировки значений активностей радионуклидов для α , β и γ - измерений. На Рисунке 36 представлена программа для расчета

активностей радионуклидов и погрешностей в пробах α -спектрометрии и β -радиометрии.

Программа для α , β - измерений была создана в связи с тем, что для определяемых в нашей ЛРК радионуклидов, некорректно обрабатывались α -спектры аппаратным программным обеспечением SpectraLineADA, а также для:

- ✓ расчета активностей радионуклидов и погрешностей в α , β -измерениях.
- ✓ расчета активностей радионуклидов и погрешностей в совместных измерениях α -спектрометрии и α , β -радиометрии (Рисунок 36).

Расчетник для α и β

Тип расчета: U-234, U-238
 Спектрометр: СЗА-1
 Настройки спектрометров

Исходный объем: 100
 Аликвота, мл: 10

Расчет U-234, U-238
 Метка: 1,1

Время, с:	7322	ХВ, отн. ед.	0,48	U-234/U-238 =	1,31
U-238 (4,2):	105	A, Бк/л U-238	0,68	Ошибка, Бк/л	0,13
U-234 (4,77):	137	A, Бк/л U-234	0,89	Ошибка, Бк/л	0,16
U-232 (5,34):	858			Ошибка, %	19
				Ошибка, %	18

Расчет Почва

Рисунок 36. Экранная форма расчетника активностей радионуклидов и погрешностей в пробах α -спектрометрии и β -радиометрии

Расчет активностей и погрешностей осуществляется по методикам выполнения измерений удельной (объемной) активности радионуклидов в материалах и объектах окружающей среды [18–23].

На примере методики выполнения измерений на определение содержания урана-234, урана-235, урана-238 в пробах, рассмотрим расчет удельной (объемной) активности и погрешностей α – измерений:

Активность (A_x , Бк) урана-238, урана-234 и урана-235 в навеске вычисляют по формуле:

$$A_x = A_m \frac{n_x - n_{\phi x} - n_{\text{прx}}}{n_m - n_{\phi m}} \quad (3.9)$$

где A_m - активность нуклида метки, внесенная в пробу, Бк (из протокола изготовления счетного образца);

n_x - суммарная скорость счета от образца в пике определяемого нуклида, s^{-1} ;

n_{fx} - скорость счета собственного фона спектрометра в пике определяемого нуклида, s^{-1} ;

$n_{прx}$ - скорость счета, в пике определяемого нуклида, обусловленная примесью определяемого нуклида в метке, s^{-1} ;

n_m - суммарная скорость от образца в пике основного нуклида метки, s^{-1} ;

n_{fm} - скорость счета собственного фона спектрометра в пике метки, s^{-1} .

Значения величин n_{fx} и n_{fm} определяют периодически в соответствии с инструкцией по эксплуатации альфа-спектрометра, используя фоновые спектры.

В связи с этим было создано окно редактирования фоновых значений и эффективностей приборов в программе для расчета активностей радионуклидов и погрешностей (Рисунок 37). Данные сохраняются в отдельных файлах с расширением .conf при нажатии на кнопку “Сохранить изменения”, тем самым упростив хранение и редактирование этих значений [32, 33].

Скорость счета, обусловленная примесью определяемого нуклида урана в метке, вычисляют по формуле:

$$n_{прx} = (n_m - n_{fm}) P_x \quad (3.10)$$

где P_x - доля активности определяемого нуклида от активности основного нуклида метки (из свидетельства).

	СЭА-1	СЭА-2	CAN
Эффективность спектрометров	0,21	0,26	0,18
Фоновые значения для U (имп/с)			
Фон метки (U-232)	0,000179	0,000134	0,0000902
Фон U-238	0,00000444	0,00000441	0,000541
Фон U-234	0,00000448	0,00000448	0,000767
Фоновые значения для Pu (имп/с)			
Фон метки (Pu-242)	0,0000448	0,0000447	0,0000451
Фон Pu-239	0,0000448	0,00000448	0,00000451
Фон Pu-238	0,0000448	0,0000448	0,000135

Сохранить изменения

Рисунок 37. Экранная форма настройки спектрометров в расчетнике активностей и погрешностей радионуклидов для α -спектрометрии и β -радиометрии

Относительную случайную погрешность определения активности нуклидов урана в навеске или аликвоте S_{Ax} вычисляют по формуле:

$$S_{Ax} = \sqrt{S_{Nm}^2 + S_{Nx}^2} \quad (3.11)$$

где, S_{Nm} - погрешность измерения числа импульсов в пике основного нуклида метки;

S_{Nx} - погрешность измерения числа импульсов в пике определяемого нуклида.

Относительные погрешности измерения числа импульсов в пиках нуклидов урана вычисляют по формулам:

$$S_{Nm} = t^{-1/2} \frac{\sqrt{n_m + n_{\phi m}}}{(n_m - n_{\phi m})} \quad (3.12) \text{ и}$$

$$S_{Nx} = t^{-1/2} \frac{\sqrt{(n_m + n_{\phi m} + n_{\text{прк}})}}{(n_m - n_{\phi m} - n_{\text{прк}})} \quad (3.13)$$

где t - время набора спектра, с.

Относительную случайную погрешность определения активности нуклидов урана в пробе при $P=0.95$ и двух измерениях вычисляют по формуле:

$$\varepsilon_x = 1.96 \frac{S_{Ax}}{\sqrt{2}} \quad (3.14)$$

Относительную суммарную неисключаемую систематическую погрешность вычисляют по формуле:

$$\theta = 1.1 \sqrt{\theta_m^2 + \theta_v^2 + \theta_p^2} \quad (3.15)$$

где, θ_m - погрешность активности радионуклида метки (из свидетельства), отн.ед.;

θ_v - погрешность измерения объема внесенного ОРР;

θ_p - погрешность разбавления ОРР.

Погрешности θ_v и θ_p вычисляют по формулам:

$$\theta_v = \Delta v_{\pi} / V_{\pi} \text{ и } \theta_p = \Delta v_{\kappa} / V_{\kappa} \quad (3.16)$$

где, Δv_{π} - погрешность измерения объема аликвоты, для пипеток второго класса точности в соответствии с ГОСТ 29227-91, см³;

V_{π} - объем аликвоты, отобранной пипеткой, см³;

Δv_{κ} - погрешность измерения объема рабочего раствора, приготовленного из ОРР, для мерных колб второго класса точности в соответствии с ГОСТ 1770-74, см³;

Вычисляют **значения доверительных границ относительной погрешности результата измерений активности при $P=0.95$** по формуле:

$$\delta_x = \sqrt{\varepsilon_m^2 + \theta^2} \quad (3.17)$$

Удельную активность нуклидов урана в твердых пробах A_{xm} (Бк/г) вычисляют по формуле:

$$A_{xm} = A_x / m \quad (3.18)$$

где m - масса навески, г.

Объемную активность нуклидов урана в жидких пробах A_{xv} (Бк/л) вычисляют по формуле:

$$A_{xv} = A_x/V \quad (3.19)$$

где V - объем аликвоты, взятой на анализ, л. Если проводилась операция выпаривания, то V - объем пробы перед выпариванием.

Вычисляют **относительную суммарную погрешность определения удельной или объемной активности нуклидов** урана $\delta_{\Sigma m}$ и $\delta_{\Sigma v}$ по формулам:

$$\delta_{\Sigma m} = \sqrt{\delta_x^2 + \theta_m^2} \quad (3.20)$$

$$\delta_{\Sigma v} = \sqrt{\delta_x^2 + \theta_v^2} \quad (3.21)$$

где, δ_x - относительная погрешность измерения активности нуклидов урана в пробе, вычисленная по п.10.8. МВИ;

θ_m, θ_v - относительные неисключаемые систематические погрешности определения массы и объема пробы, соответственно.

Рассчитывают **абсолютную доверительную погрешность результата измерения удельной или объемной активности** по формулам:

$$\Delta_{\Sigma xm} = \delta_{\Sigma m} A_m \quad \text{или} \quad \Delta_{\Sigma xv} = \delta_{\Sigma v} A_v \quad (3.22)$$

4.5. Краткая характеристика результатов практического использования информационной системы

На основании справки (Приложение 3) «О практическом применении результатов научных исследований С.С. Писаненко – научного сотрудника испытательной лаборатории радиационного контроля АО «ВНИИХТ», полученных в процессе работы над кандидатской диссертацией на тему «Методические основы и инструменты обработки информации об активности радионуклидов в пробах испытательной лаборатории радиационного контроля» можно выделить основные этапы внедрения и практического использования информационной системы в лаборатории:

1. Программное обеспечение для ввода-вывода данных о характеристиках проб технологических продуктов и образцов окружающей среды, поступающих на измерения в ИЛРК.

Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 19 апреля 2012.

Размещение программы – локальная вычислительная сеть ИЛРК.

Ответственный за эксплуатацию – с.н.с. А.М. Могирев.

2. Программное обеспечение для ввода-вывода данных о предварительной пробоподготовке образцов технологических продуктов и образцов окружающей среды, поступающих на измерения в ИЛРК.

Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 17 сентября 2012.

Размещение программы – локальная вычислительная сеть ИЛРК.

Ответственный за эксплуатацию – н.с. С.С. Писаненко.

3. Адаптация программного обеспечения MySQL, phpMyAdmin и др. для обработки информации о пробах в базе данных, поступающих на измерения в ИЛРК.

Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 16 октября 2012.

Размещение программ – локальная вычислительная сеть ИЛРК.

Ответственный за эксплуатацию – с.н.с. А.М. Могирев.

4. Программное обеспечение для ввода-вывода данных о подготовке счетных образцов для альфа – спектрометрии, поступающих на измерения в ИЛРК.

Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 24 июня 2013.

Размещение программы – локальная вычислительная сеть ИЛРК.

Ответственный за эксплуатацию – вед. инж. Н.Ю. Позднякова.

5. Программное обеспечение для ввода-вывода данных о подготовке счетных образцов для гамма – спектрометрии, поступающих на измерения в ИЛРК.

Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 24 июня 2013.

Размещение программы – локальная вычислительная сеть ИЛРК.

Ответственный за эксплуатацию – н.с. С.С. Писаненко.

6. Программное обеспечение для ввода-вывода данных о подготовке счетных образцов для альфа-бета-радиометрии, поступающих на измерения в ИЛРК.

Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 24 июня 2013.

Размещение программы – локальная вычислительная сеть ИЛРК.

Ответственный за эксплуатацию – вед. инж. Н.Ю. Позднякова.

7. Программное обеспечение для расчета активностей и погрешностей в счетных образцах для альфа – спектрометрии, поступающих на измерения в ИЛРК.

Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 3 февраля 2015.

Размещение программы – локальная вычислительная сеть ИЛРК.

Ответственный за эксплуатацию – н.с. С.С. Писаненко.

8. Программное обеспечение для расчета активностей и погрешностей в счетных образцах для альфа-бета-радиометрии, поступающих на измерения в ИЛРК.

Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 3 февраля 2015.

Размещение программы – локальная вычислительная сеть ИЛРК.

Ответственный за эксплуатацию – н.с. С.С. Писаненко.

4.6. Выводы

Изложены результаты выполнения работ по созданию информационной системы ИЛРК, включающую аппаратно-программный комплекс на основе клиент-серверной системы и объединенной в одну ЛВС.

В серверные приложения включены следующие компоненты: серверная операционная система – FreeBSD 8.2; серверная СУБД – MySQL 5.0; web-сервер – Apache 2.2; антивирусная система – ClamAV; файловый сервер – Samba 3.0; программа архивирования и резервирования данных – rsync; система защиты от сетевых атак – программный межсетевой экран IPFW в связке с программой

трансляции сетевых адресов NAT, при поддержке ядра ОС. Администрирование СУБД осуществляется веб-приложением phpMyAdmin.

В клиентские приложения ИС входит комплекс программ для α , β и γ -измерений (Spectraline GP, Spectraline ADA, UMS) и программы обработки данных радиационного анализа, разрабатываемую на объектно-ориентированном языке C# в среде разработки Microsoft Visual Studio 2010. В программу внедрены модули для расчетов активностей в образцах и погрешностей, и обладает удобным графическим интерфейсом для работы с базой данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации изложены новые научно-обоснованные технические и программно-методические решения по обработке информации об активности радионуклидов в пробах испытательной лаборатории радиационного контроля, внедрение которых вносит значительный вклад в экономическое развитие, повышение экологической безопасности и обороноспособности страны.

На основе анализа ИЛРК:

- разработан комплекс алгоритмов обработки информации в ИЛРК на основе существующих МВИ;
- разработана модель базы данных в ИЛРК;
- разработано специальное программное обеспечение системы радиационного контроля;
- разработан аппаратно-программный комплекс в ИЛРК;
- все разработки внедрены в опытно-промышленную эксплуатацию.

ГЛОССАРИЙ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ И ПОНЯТИЙ

Алгоритм - это набор инструкций, описывающих порядок действия для достижения требуемых результатов к управлению обращением или оценки воздействия на окружающую среду химических веществ.

Автоматизированная информационная система - совокупность программно-аппаратных средств, предназначенных для автоматизации деятельности, связанной с хранением, передачей и обработкой информации.

Аналого-цифровой преобразователь - устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в цифровой сигнал.

Локальная вычислительная сеть - это совокупность компьютеров, соединенных между собой с помощью каналов связи в единую систему и использующих общие ресурсы.

Методика выполнения измерений - чёткий алгоритм, пооперационно и с максимальной детализацией регламентирующий процесс определения заданных параметров конкретного объекта с необходимой точностью.

Радиоактивные отходы - отходы, содержащие радиоактивные изотопы химических элементов.

Радионуклид - нуклид, ядро которого нестабильно и испытывает радиоактивный распад.

Система управления базой данных - совокупность программных и лингвистических средств общего или специального назначения, обеспечивающих управление созданием и использованием баз данных.

Счетный образец - образец, получаемый в результате определенных физико-химических операций с веществом пробы.

Электролиз - физико-химический процесс, позволяющий выделить на электродах растворённые радиоактивные элементы, являющиеся результатом электрохимических процессов, который возникает при прохождении электрического тока через раствор.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АИС	Автоматизированная информационная система
АО «ВНИИХТ»	Акционерное общество «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии»
АЦП	аналого-цифровой преобразователь
БД	База данных
ВХВ	Вредные химические вещества
ИЛРК	Испытательная лаборатория радиационного контроля
ИС	Информационная система
ИТ	Информационная технология
ЛВС	Локальная вычислительная сеть
МВИ	Методика выполнения измерений
ОПЭ	Опытно-промышленная эксплуатация
ОС	Операционная система
ПК	Персональный компьютер
ПО	Программное обеспечение
ППД	Полупроводниковый детектор
РАО	Радиоактивные отходы
СПО	Специальное программное обеспечение
СУБД	Система управления базой данных
ТЗ	Техническое задание

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агапов, А.М. Актуальные вопросы экологической безопасности МИНАТОМА / А.М. Агапов, Д.В. Макухин, Г.А. Новиков, Н.Н. Радаев. – Москва: ЦНИИАИ, 2005. – 309с.
2. Бушуев, А.В. Практическая гамма-спектрометрия: Учебное пособие / А.В. Бушуев, Е.В. Петрова, А.Ф. Кожин. – Москва: МИФИ, 2006. – 124 с.
3. Быковский, В.А. Информационная поддержка химических технологий безопасного обращения с радиоактивными отходами: дис. ...канд. техн. наук: 05.13.01/ Быковский Вадим Анатольевич. – Москва, 2012. – 117 с.
4. Варлаков, А.П. Научное обоснование унифицированной технологии цементирования радиоактивных отходов: дис. ...д-ра техн. наук: 05.17.02/ Варлаков Андрей Петрович. – М., 2011. – 325 с.
5. Васвани, В. Полный справочник по MySQL / В. Васвани. – Москва: Вильямс, 2006. – 528 с.
6. ГОСТ- 31864-2012 Вода питьевая. Метод определения суммарной удельной альфа-активности радионуклидов. – М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.
7. Зеленков, А.Г. Некоторые вопросы радиационной экологии / А.Г. Зеленков. – Москва: ИАЭ, 1989. – 80 с.
8. Инструкция по изготовлению счетных образцов из проб объектов природной и технологической сред». Документ ЛРК ООЗОС № 0-5.33. 2009, утвержден Первым заместителем директора ОАО «ВНИИХТ» 10.08.09.
9. Карпов, Ю.А. Методы пробоотбора и пробоподготовки / Ю.А. Карпов, А.П. Савостин. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 243 с
10. Кожин, О.В. Информационная поддержка системы массового радиационного контроля проб сложного химического состава: дис. ...канд. техн. наук: 05.13.01/ Кожин Олег Владимирович. – М., 2012. – 79 с.
11. Колыбанов, К.Ю. Информационные системы экологического мониторинга предприятий химического профиля на базе технологий хранилищ данных: дис. ...д-ра техн. наук: 05.13.01/ Колыбанов Кирилл Юрьевич. – М., 2008. – 292 с.

12. Кузин Р.Е., Величкин А. С., Миронова М.О. Исследование и разработка «региональных геоинформационных систем по обращению с отходами при переработке урановых руд резервных месторождений» (РГИСОО): обоснование и выбор программной оболочки РГИСОО адекватной задачам оценки воздействия на окружающую среду, оцифровка источников эмиссии в окружающую среду. Отчет о НИР, тема 247-С34, инв.№ 3817, 2007, фонды ФГУП «ВНИИХТ» - 191 с.
13. Кузин, Р.Е. Автоматизированная система радиационного и химического мониторинга ВНИИХТ как типовое решение для опасных химических производств / Р.Е. Кузин, А.В. Комаров, Ю.Г. Ткачук. В.В. Шаталов // Экологические системы и приборы. – 1999. – № 1. – 11с.
14. Кузин, Р.Е. Экологические проблемы освоения резервных урановых месторождений / Р.Е. Кузин, В.И. Никонов, В.Г. Соловьев, В.В. Шаталов. – Москва.: ФГУП «ЦНИИАТОМИНФОРМ», 2008. – 228 с.
15. Кузнецов, В.П. Метрологическое обеспечение полупроводниковой гамма-спектрометрии при обработке измерительной информации: дис. ...канд. техн. наук: 05.11.15/ Кузнецов Владимир Павлович. – М., 1985. – 168 с.
16. Матвеев, В.В. Современное состояние и тенденции развития радиоэкологического приборостроения / В.В. Матвеев, Б.В. Поленов К.Н. Стась // Экологические системы и приборы. – 1999. – № 1. – 17-21 с.
17. Медведков, М.С. Информационная поддержка системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов: дис. ...канд. техн. наук: 05.13.01/ Медведков Максим Сергеевич. – М., 2011. – 128 с.
18. Методика выполнения измерений активности гамма-излучающих нуклидов в счетных образцах с применением полупроводникового спектрометра, свидетельство № 582/04 об аттестации выдано ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 25.10.2004.
19. Методика выполнения измерений суммарной объемной (удельной) активности бета-излучающих радионуклидов в питьевой воде, воде

- водоисточника, природных и технических водах на альфа-бета радиометре LB-770, свидетельство № 2052/09 об аттестации выдано ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 01.12.2009.
20. Методика выполнения измерений удельной активности нуклидов плутония в пробах окружающей и технологических сред с применением полупроводникового альфа-спектрометра, свидетельство № 581/04 об аттестации выдано ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 25.10.2004.
 21. Методика выполнения измерений удельной активности радионуклидов свинец-210, полоний-210 в пробах урановых материалов и объектах окружающей среды с применением методики радиохимического выделения и альфа-радиометра, свидетельство № 716/07 об аттестации выдано ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 25.06.2007.
 22. Методика выполнения измерений удельной активности стронция-90 в пробах окружающей среды с применением методики радиохимического выделения и бета-радиометра, свидетельство № 1103/06 об аттестации выдано ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 29.11.2006.
 23. Методика выполнения измерений удельной активности урана-234, урана-235, урана-238 в пробах урановых материалов и объектах окружающей среды с применением полупроводникового альфа-спектрометра, свидетельство № 804/05 об аттестации выдано ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 12.09.2005.
 24. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): [санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09]. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.
 25. Об использовании атомной энергии: [федеральный закон № 170 от 21.11.1995 г.: по состоянию на 05.04.2016 г.]. — Официальный интернет-портал правовой информации – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102038289&intelsearch=%F4%E5%E4%E5%F0%E0%EB%FC%ED%FB%E9+%E7%E0%EA%EE%ED+%CE%E>

1+%E8%F1%EF%EE%EB%FC%E7%EE%E2%E0%ED%E8%E8+%E0%F2%E
E%EC%ED%EE%E9+%FD%ED%E5%F0%E3%E8%E8.

26. Об обеспечении единства измерений: [федеральный закон № 102 от 26.06.2008 г.: по состоянию на 13.07.2015 г.]. — Официальный интернет-портал правовой информации – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102122832&backlink=1&&nd=102355883>.
27. Об утверждении метрологических требований к измерениям, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, их составным частям, программному обеспечению, методикам (методам) измерений, применяемым в области использования атомной энергии: [приказ №1/10-НПА от 31.10.2013 г. ГК «РОСАТОМ», зарегистрирован Министерством Юстиции Российской Федерации № 31442 от 27.02.2014 г].
28. Об утверждении Положения об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии: [постановление правительства Российской федерации № 1488 от 30.12.2012 г.: вступило в силу 01.12.2013 г.]. — Официальный интернет-портал правовой информации – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102162515&intelsearch=%CE%E1+%F3%F2%E2%E5%F0%E6%E4%E5%ED%E8%E8+%CF%EE%EB%EE%E6%E5%ED%E8%FF+%EE%E1+%EE%F1%EE%E1%E5%ED%ED%EE%F1%F2%FF%F5+%EE%E1%E5%F1%EF%E5%F7%E5%ED%E8%FF+%E5%E4%E8%ED%F1%F2%E2%E0+%E8%E7%EC%E5%F0%E5%ED%E8%E9+%EF%F0%E8+%EE%F1%F3%F9%E5%F1%F2%E2%EB%E5%ED%E8%E8+%E4%E5%FF%F2%E5%EB%FC%ED%EE%F1%F2%E8+%E2+%EE%E1%EB%E0%F1%F2%E8+%E8%F1%EF%EE%EB%FC%E7%EE%E2%E0%ED%E8%FF+%E0%F2%EE%EC%ED%EE%E9+%FD%ED%E5%F0%E3%E8%E8>
29. Олифер, В.Г. Компьютерные сети / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – Москва: МГГУ, 2003. – 200 с.

30. Писаненко, С.С. Определение и отработка элементов подготовки к проведению процессов рекультивации хвостохранилищ на примере отработанного уранового месторождения Табошар (Таджикистан). / Н.В. Ключкова, В.Ю. Кольцов, С.С. Писаненко. // Тезисы VIII Всероссийской конференции по радиохимии «Радиохимия - 2015», 28 сентября - 2 октября 2015, с. 282.
31. Писаненко, С.С. Опыт спектрометрических исследований радионуклидного состава проб окружающей среды. / О.В. Кожин, А.М. Могирев, В.И. Прокопчик, С.С. Писаненко// Материалы третьей общероссийской конференции «Методы и средства радиационного контроля», Санкт-Петербург, октябрь 2011. Санкт-Петербург: Изд ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 2011, с. 174-178.
32. Писаненко, С.С. Основы построения информационной системы лаборатории радиационного контроля / С.С. Писаненко, Р.Е. Кузин // Информационные и телекоммуникационные технологии. – 2016. – № 29 – С. 9-13.
33. Писаненко, С.С. Расчет активностей и погрешностей низкоактивных проб в информационной системе испытательной лаборатории радиационного контроля АО «ВНИИХТ» / С.С. Писаненко // ВНИИХТ – 65 лет: Сборник научных трудов. – Москва, 2016. – с. 319-324.
34. Писаненко, С.С. Система информационной поддержки радиационного контроля большого потока проб / Р.Е. Кузин, С.С. Писаненко, О.В. Кожин, И.В. Лебедев, А.М. Могирев, Т.Н. Таиров. // Прикладная информатика – 2012 – № 2 – С. 26 -31.
35. Писаненко, С.С. Спектрометрические исследования радионуклидного состава технологических продуктов и проб окружающей среды. / В.И. Прокопчик, Н.Н. Рыжков, Н.В. Ключкова, С.С. Писаненко//Тезисы XIII международного совещания: Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии, 5-8 октября 2015, с. 26.
36. Писаненко, С.С. Управление внедрением модельно-ориентированного подхода в процесс разработки программного обеспечения / С.С. Писаненко,

- И.В. Грачев, О.А. Жданович., А.А. Тимофеев // Прикладная информатика. – 2013. – № 5 – С. 57-63
37. Польский, О.Г. Радиационная безопасность при эксплуатации радиоизотопных приборов/ О.Г. Польский, В.И. Гришмановский, И.П. Коренков. – Москва: Энергоатомиздат, 1983 – 86 с.
 38. Прайс, Д. Visual C#/ Полное руководство / Д. Прайс, М. Гандэрлой // – Санкт-Петербург: КОРОНА принт, 2004. – 960 с.
 39. Программное обеспечение "Lsrn". Алгоритмические основы - функции обработки спектрометрической информации. – Менделеево: ООО «LSRM», 2015. – 51 с.
 40. Равикович, В.И. Методологические основы создания распределенных информационных систем производственного экологического мониторинга и экологической безопасности предприятий химического профиля: дис. ...д-ра техн. наук: 05.13.01/ Равикович Виталий Ильич. – М., 2008. – 232 с.
 41. Расчетно-экспериментальное обоснование условий окончательного удаления радиоактивных отходов и разработка перспективных обеспечивающих технологий: отчет о НИР / Этап 2012 года, ЭТАП 1, Государственный контракт от 07.06.2012 № Н.4х.45.90.12.1095. Фонды ОАО «ВНИИХТ», ТИ/4921, № госрегистрации 01201169243, 2012.
 42. РД IDEF0. Методология функционального моделирования IDEF0. Госстандарт России. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 75 с.
 43. Сапожников, Ю.А. Радиоактивность окружающей среды / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 286 с.
 44. Смирнов, С.Н. Радиационная экология / С.Н. Смирнов. – Москва: МНЭПУ, 2000. – 334 с.
 45. Соболев, И.А. Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды / И.А. Соболев, Е.Н. Беляев. – Москва: Медицина, 2002. – 432 с.

46. Соболев А.И. / A.I. Sobolev and S.N. Brykin, RosRAO, Russia and O.A. Gorbunova, Radon, Russia / Chapter 10, Russia: experience of radioactive waste (RAW) management and contaminated site clean-up (p. 345-382) (in Hardcover) Radioactive waste management and contaminated site clean-up: processes, technologies and international experience. // Ed. by William E. Lee, Michael I. Ojovan, and Carol M. Jantzen. Woodhead Publishing, 2013, 879 pages
47. Соболев, А.И. Защита окружающей среды при эксплуатации и выводе из эксплуатации радиационно-опасных объектов / И.П. Коренков, Н.К. Шандала, Т.Н. Лащенко, А.И. Соболев. – Москва: БИНОМ, 2014. – 440 с.
48. Соболев, А.И. Диагностика и прогнозирование экологической безопасности территорий при обращении с радиоактивными отходами / А.В. Маркелов, Д.А. Маркелов, Н.Я. Минеева, А.И. Соболев // Российский химический журнал (журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева) – 2010 – том LIV, 3. – С. 172-179
49. Соболев, А.И. Единая информационно-аналитическая система радиационной экологической безопасности / В.И. Лузин, А.И. Соболев // Безопасность окружающей среды. – 2010. – №1. – С. 56-60.
50. Соболев, А.И. Инновационные технологии обеспечения экологической безопасности / Д.А. Маркелов, А.В. Маркелов., Н.Я. Минеева, М.А. Григорьева, О.Е. Польшова, А.И. Соболев, А.П. Акользин // Вестник Российской академии естественных наук. – 2011. – № 5 – С. 50-52.
51. Соболев, А.И. Техничко-экономические характеристики технологий очистки воды от трития методом химического изотопного обмена в системе вода-водород / А.И. Костылев, И.С. Ледовской, Э.П. Магомедбеков, М.Б. Розенкевич, Ю.А. Сахаровский, И.Л. Селиваненко, А.И. Соболев, С.Н. Флоря // Радиохимия. – 2014. – № 5. – С. 450-454.
52. Соболев, А.И. Современная направленность научных исследований в решении актуальных задач обращения с радиоактивными отходами / А.И.

- Соболев, С.Н. Брыкин, С.Н. Флоря, В.С. Баринов // Ядерная и радиационная безопасность России. – 2014. – №17. – С. 95-106.
53. Филаретов, Г.Ф. Выделение серий аномальных наблюдений в коррелированных временных рядах / И.О. Попов, Г.Ф. Филаретов // Вестник Московского энергетического института. – 2011. – № 2. – С. 72–77.
54. Филаретов, Г.Ф. Выделение серий аномальных наблюдений в коррелированных временных рядах/ И.О. Попов, Г.Ф. Филаретов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Шестнадцатая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – Москва, 2010. – Том 1. – С. 438-439.
55. Филаретов, Г.Ф. Последовательный алгоритм обнаружения разладки фрактальных временных рядов / Г.Ф. Филаретов, А.А. Червова // Вестник МЭИ. – 2015. – № 3. – С. 102–109.
56. Хернандес, М. Дж. SQL-запросы для простых смертных. Практическое руководство по манипулированию данными в SQL. /М. Дж. Хернандес, Дж. Л. Вьескас. – Москва: Лори, 2003. – 459 с.
57. Эбен, М. FreeBSD. Энциклопедия пользователя. 2-е изд. перераб. и доп. / Эбен, М., Таймэн Б. – Санкт-Петербург: ДиаСофтЮП, 2003. – 752 с.
58. SpectraLineXX 1.6. Прецизионная обработка спектров. Описание основных функций. Руководство пользователя. – Менделеево.: ООО «LSRM», 2015. – 193 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ФРАГМЕНТ КОДА ОСНОВНЫХ ОКОН ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

```

namespace ОДРА
{
    public partial class main_window : Form
    {
        public main_window()
        {
            InitializeComponent();
            this.WindowState = FormWindowState.Maximized;
            connectBS();
        }
        public MySqlConnection conn;
        public void connectBS()
        {
            if (conn != null)
                conn.Close();
            string connStr =
                String.Format("server={0};user id={1}; password={2}; database=mysql; pooling=false; Charset=utf8;",
                    // server.Text, userid.Text, password.Text);
                    "192.168.0.199", "ghost-mo", "ghost-mo");
            try
            {
                conn = new MySqlConnection(connStr);
                conn.Open();
                MySqlDataReader reader = null;
                conn.ChangeDatabase("vniht");
            }
            catch (MySqlException ex)
            {
                MessageBox.Show("Error connecting to the server: " + ex.Message);
            }
        }
        private void ЗакрытьToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            try { this.ActiveMdiChild.Close(); }
            catch { MessageBox.Show(@"Ни один файл не открыт", @"Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Hand); }
        }
        private void выходToolStripMenuItem_Click_1(object sender, EventArgs e)
        {
            Close();
        }
        private void добавитьДискToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            dobavl_disk qaz = new dobavl_disk();
            qaz.WindowState = FormWindowState.Maximized;
            qaz.MdiParent = this;

            qaz.Show();
        }
        private void добавитьПробуToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            dobavl_prob qaz = new dobavl_prob();
            qaz.WindowState = FormWindowState.Maximized;
        }
    }
}

```

```

qaz.MdiParent = this;
qaz.Show();
}
private void добавитьредактироватьСотрудникаToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
look_sotr qaz = new look_sotr();
qaz.WindowState = FormWindowState.Maximized;
qaz.MdiParent = this;
qaz.Show();
}
private void добавитьредактироватьСпектрометрToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
dob_spectrom qaz = new dob_spectrom { WindowState = FormWindowState.Maximized, MdiParent = this };
qaz.Show();
}
private void добавитьредактироватьЗаказчикаToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
dob_zak qaz = new dob_zak();
qaz.WindowState = FormWindowState.Maximized;
qaz.MdiParent = this;
qaz.Show();
}
private void редактироватьПробуToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
edit_prob qaz = new edit_prob();
qaz.WindowState = FormWindowState.Maximized;
qaz.MdiParent = this;
qaz.Show();
}
private void редактироватьДискиToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
edit_disk qaz = new edit_disk();
qaz.WindowState = FormWindowState.Maximized;
qaz.MdiParent = this;
qaz.Show();
}
private void добавлениеРезультатовИзмеренияToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
Rez qaz = new Rez();
qaz.WindowState = FormWindowState.Maximized;
qaz.MdiParent = this;
qaz.Show();
}
private void просмотрПробИИхДисковToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
look_prob_i_diski qaz = new look_prob_i_diski();
qaz.WindowState = FormWindowState.Maximized;
qaz.MdiParent = this;
qaz.Show();
}
private void просмотрСотрудниковToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
look_sotr qaz = new look_sotr();
qaz.WindowState = FormWindowState.Maximized;
qaz.MdiParent = this;
qaz.Show();
}
private void поискToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
}
private void расчетДисковToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
Obr_Rez qaz = new Obr_Rez();

```



```
qaz.WindowState = FormWindowState.Maximized;
qaz.MdiParent = this;
qaz.Show();
}
private void настроитьСоединениеToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Connect qaz = new Connect();
    qaz.WindowState = FormWindowState.Maximized;
    qaz.MdiParent = this;
    qaz.Show();
}
```

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ФРАГМЕНТ КОДА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА АКТИВНОСТЕЙ И ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ДЛЯ АЛЬФА И БЕТА ИЗМЕРЕНИЙ

α

```

case "U-234, U-238":
{
var nU534 = (double.Parse(U534.Text)/double.Parse(timeU.Text));
var nU42 = double.Parse(U42.Text)/double.Parse(timeU.Text);
var nU477 = double.Parse(U477.Text)/double.Parse(timeU.Text);
var hvv = Math.Round(nU534/double.Parse(МЕТКА.Text)/aff_1, 2);
//double nfm = 1/double.Parse(timeU.Text); //фон метки в единицу времени
double nprx = 0.002 * (nU534-nfm); //примесь в метке n(prx)
XBU.Text = hvv.ToString();
U8R.ForeColor = Color.DarkRed;
if (HZ.Checked)
{
U8R.Text =
Math.Round(nU42/hvv/aff_1/nav_1/
vskr_1*upar_1*1000, 2).ToString();
U4R.Text =
Math.Round(nU477/hvv/aff_1/nav_1/
vskr_1*upar_1*1000, 2).ToString();
}
else
{
U8R_1 =
Math.Round(nU42/hvv/aff_1*upar_1/
nav_1/litrov_1, 2);
U8R.Text = U8R_1.ToString();
U4R_1 =
Math.Round(nU477/hvv/aff_1*upar_1/
nav_1/litrov_1, 2);
U4R.Text = U4R_1.ToString();
U4U8.Text = (Math.Round((U4R_1/U8R_1),2)).ToString(); // Отношение активностей 238 к 234
}
//ОШИБКА НАЧАЛО
//4.2
double Snm = Math.Pow(double.Parse(timeU.Text),-0.5)*Math.Sqrt(nU534+nfm)/(nU534-nfm);
double Snx = Math.Pow(double.Parse(timeU.Text),-0.5)*Math.Sqrt(nU42 + nfx42 + nprx) / (nU42 - nfx42 - nprx);
double Sax = Math.Sqrt(Math.Pow(Snm, 2) + Math.Pow(Snx, 2));
double Ex = 1.96*Sax/Math.Sqrt(2);
double Six = Math.Sqrt(Math.Pow(Ex, 2) + Math.Pow(0.123, 2));
double Siem = Math.Sqrt(Math.Pow(Six, 2) + Math.Pow(0.01, 2));
double Siev = Math.Sqrt(Math.Pow(Six, 2) + Math.Pow(0.02, 2));
if (HZ.Checked)
{
OU8R_1 = Siem * U8R_1;
}
else
{
OU8R_1 = Siev * U8R_1;
}
OU8R.Text = Math.Round(OU8R_1, 2).ToString();
OU8PR.Text = Math.Round(OU8R_1 * 100 / U8R_1).ToString();
// 4,77
Snm = Math.Pow(double.Parse(timeU.Text), -0.5) * Math.Sqrt(nU534 + nfm) / (nU534 - nfm);
Snx = Math.Pow(double.Parse(timeU.Text), -0.5) * Math.Sqrt(nU477 + nfx477 + nprx) / (nU477 - nfx477 - nprx);
Sax = Math.Sqrt(Math.Pow(Snm, 2) + Math.Pow(Snx, 2));
Ex = 1.96 * Sax / Math.Sqrt(2);

```

```

Six = Math.Sqrt(Math.Pow(Ex, 2) + Math.Pow(0.123, 2));
Siem = Math.Sqrt(Math.Pow(Six, 2) + Math.Pow(0.01, 2));
Siev = Math.Sqrt(Math.Pow(Six, 2) + Math.Pow(0.02, 2));
if (HZ.Checked)
{
OU4R_1 = Siem * U4R_1;
}
else
{
OU4R_1 = Siev * U4R_1;
}
OU4R.Text = Math.Round(OU4R_1, 2).ToString();
OU4PR.Text = Math.Round(OU4R_1 * 100 / U4R_1).ToString();
}
break;
case "Th-232, Th-280, Th-228":
{
XBTh.Text =
(Math.Round(
((double.Parse(ADTh.Text) - double.Parse(FTh.Text)) /
((double.Parse(AMTh.Text) - double.Parse(FTh.Text)))), 2)).ToString();

if (HZ.Checked == true)
{
Th230R_L =
(Math.Round(
(double.Parse(Th466.Text) /
(double.Parse(timeTh.Text) * (double.Parse(XBTh.Text)) * aff_1) /
nav_1 * 1000), 2));
Th228R_L =
(Math.Round(
(double.Parse(Th542.Text) /
(double.Parse(timeTh.Text) * (double.Parse(XBTh.Text)) * aff_1) /
nav_1 * 1000), 2));
Th232R_L =
(Math.Round(
((double.Parse(Th4.Text)) /
(double.Parse(timeTh.Text) * (double.Parse(XBTh.Text)) * aff_1) /
nav_1 * 1000), 2));
}
else
{
Th230R_L =
(Math.Round(
(double.Parse(Th466.Text) * upar_1 / double.Parse(timeTh.Text) /
double.Parse(XBTh.Text) / aff_1 / nav_1 / litrov_1), 2));
Th228R_L =
(Math.Round(
(double.Parse(Th542.Text) * upar_1 / double.Parse(timeTh.Text) /
double.Parse(XBTh.Text) / aff_1 / nav_1 / litrov_1), 2));
Th232R_L =
(Math.Round(
((double.Parse(Th4.Text)) * upar_1 / double.Parse(timeTh.Text) /
double.Parse(XBTh.Text) / aff_1 / nav_1 / litrov_1), 2));
}
Th232R.Text = Math.Round(Th232R_L, 2).ToString();
Th230R.Text = Math.Round(Th230R_L, 2).ToString();
Th228R.Text = Math.Round(Th228R_L, 2).ToString();

// Ошибка по методике
double Snth232 = Math.Sqrt(Double.Parse(Th4.Text)) / Double.Parse(Th4.Text);
double Snth230 = Math.Sqrt(Double.Parse(Th466.Text)) / Double.Parse(Th466.Text);
double Snth228 = Math.Sqrt(Double.Parse(Th542.Text)) / Double.Parse(Th542.Text);
double Sn0th234 = Math.Sqrt(Double.Parse(AMTh.Text)) / (Double.Parse(AMTh.Text)); // здесь убрали 100 сек

//Статистическая погрешность
double Sth232 = Math.Sqrt(Math.Pow(Snth232, 2)+Math.Pow(Sn0th234, 2));
double Sth230 = Math.Sqrt(Math.Pow(Snth230, 2)+Math.Pow(Sn0th234, 2));
double Sth228 = Math.Sqrt(Math.Pow(Snth228, 2)+Math.Pow(Sn0th234, 2));
double Exth232 = 2 * Sth232 / Math.Sqrt(2);

```

```

double Exth230 = 2 * Sth230 / Math.Sqrt(2);
double Exth228 = 2 * Sth228 / Math.Sqrt(2);
double Teta = 1.1 * Math.Sqrt(Math.Pow(0.123, 2) + Math.Pow(0.1, 2));
double Sixth232 = Math.Sqrt(Math.Pow(Exth232, 2) + Math.Pow(Teta, 2));
double Sixth230 = Math.Sqrt(Math.Pow(Exth230, 2) + Math.Pow(Teta, 2));
double Sixth228 = Math.Sqrt(Math.Pow(Exth228, 2) + Math.Pow(Teta, 2));
OTh2_1 = Sixth232 * Th232R_L;
OTh0_1 = Sixth230 * Th230R_L;
OTh8_1 = Sixth228 * Th228R_L;
OTh2_bk.Text = Math.Round((OTh2_1), 2).ToString();
OTh0_bk.Text = Math.Round((OTh0_1), 2).ToString();
OTh8_bk.Text = Math.Round((OTh8_1), 2).ToString();
OTh2.Text = Math.Round((OTh2_1 * 100 / Th232R_L).ToString());
OTh0.Text = Math.Round((OTh0_1 * 100 / Th230R_L).ToString());
OTh8.Text = Math.Round((OTh8_1 * 100 / Th228R_L).ToString());

}
break;

case "Pu-239":
{
var nPu515 = (double.Parse(Pu515.Text) / double.Parse(timePu.Text));
var nPu49 = double.Parse(Pu49.Text) / double.Parse(timePu.Text);
double Punprx = 0.002 * (nPu49 - Punfm); //примесь в метке n(прх)
XBPu.Text = (Math.Round((nPu49 / (aff_1 * Pum_1)), 2)).ToString(); //химический выход
APu239d_1 = (Math.Round(Pum_1 * (nPu515 - Punfx - Punprx) / (nPu49 - Punfm), 4)); //А(Бк) определяемый нуклид
APu239d.Text = APu239d_1.ToString();
APu239_1 = (Math.Round((APu239d_1 / litrov_1), 4)); //А(Бк/л) определяемый нуклид
APu239.Text = APu239_1.ToString();

//Расчет ошибки по методике
double PuSnm = Math.Pow(double.Parse(timePu.Text), -0.5) * Math.Sqrt(nPu49 + Punfm) / (nPu49 - Punfm);
double PuSnx = Math.Pow(double.Parse(timePu.Text), -0.5) * Math.Sqrt(nPu515 + Punfx + Punprx) / (nPu515 - Punfx - Punprx);
double PuSax = Math.Sqrt(Math.Pow(PuSnm, 2) + Math.Pow(PuSnx, 2));
double PuEx = 1.96 * PuSax / Math.Sqrt(2);
double PuSix = Math.Sqrt(Math.Pow(PuEx, 2) + Math.Pow(0.123, 2));
double PuSiem = Math.Sqrt(Math.Pow(PuSix, 2) + Math.Pow(0.01, 2));
double PuSiev = Math.Sqrt(Math.Pow(PuSix, 2) + Math.Pow(0.02, 2));
if (HZ.Checked)
{
OPu_1 = PuSiem * APu239_1;
OPud_1 = PuSiem * APu239d_1;
}
else
{
OPu_1 = PuSiev * APu239_1;
OPud_1 = PuSiev * APu239d_1;
}
OPu.Text = Math.Round(OPu_1, 4).ToString();
OPuPR.Text = Math.Round(OPu_1 * 100 / APu239_1).ToString();
OPud.Text = Math.Round(OPud_1, 4).ToString();
OPuPRd.Text = Math.Round(OPud_1 * 100 / APu239d_1).ToString();
}
break;

case "Po-210. Pb-210":
{
var aff_po_1 = double.Parse(aff_po.Text);
var aff_pb_1 = double.Parse(aff_pb.Text);
var o_nab_po_1 = double.Parse(o_nab_po.Text);
var o_nab_pb_1 = double.Parse(o_nab_pb.Text);
if (HZ.Checked == true)
{
po_a_1 =
Math.Round(
(n_po_1 - (t_izm_po_1 * n_fon_po_1 / t_fon_po_1) / t_izm_po_1) / (aff_po_1 * XB_po_1) /
nav_1 / vskr_1 * upar_1, 3);
pb_a_1 =
Math.Round(

```

```

(n_pb_1 - (t_izm_pb_1 * n_fon_pb_1 / t_fon_pb_1) / t_izm_pb_1) / (aff_pb_1 * XB_pb_1) /
nav_1 / vskr_1 * upar_1, 3);}
else
{
po_a_1 =
Math.Round(
((n_po_1 - n_fon_po_1) / (aff_po_1 * XB_po_1)) *
upar_1 / nav_1 / litrov_1, 3);
pb_a_1 =
Math.Round(
((n_pb_1 - n_fon_pb_1) / (aff_pb_1 * XB_pb_1)), 3);

// Ошибка по методике
double SBeta = Math.Sqrt(Double.Parse(n_pb.Text)) / Double.Parse(n_pb.Text); // Свинец
double S1 = 0.08/0.58; //Методичка, страница 5
double SPb = Math.Sqrt(Math.Pow(SBeta, 2)+Math.Pow(S1, 2));
double Epb = 1.4*SPb;
double TetaPb = Math.Sqrt(Math.Pow(0.1, 2) + Math.Pow(0.06, 2));
double DeltaPb = Math.Sqrt(Math.Pow(Epb, 2) + Math.Pow(TetaPb, 2));
double SAlpha = Math.Sqrt(Double.Parse(n_po.Text)) / Double.Parse(n_po.Text); // Полоний
double S2 = 0.1/0.71; //Методичка, страница 5
double SPo = 1.1*Math.Sqrt(Math.Pow(SAlpha, 2)+Math.Pow(S2, 2));
double Epo = 1.4*SPo;
double TetaPo = 1.1*Math.Sqrt(Math.Pow(0.1, 2) + Math.Pow(0.06, 2));
double DeltaPo = Math.Sqrt(Math.Pow(Epo, 2) + Math.Pow(TetaPo, 2));
po_a.Text = po_a_1.ToString();
Po_oshib.Text = Math.Round(DeltaPo,3).ToString();
po_oshib_bk.Text = Math.Round(po_a_1*DeltaPo).ToString();
pb_a.Text = Math.Round(pb_a_1 * upar_1 / nav_1 / litrov_1, 3).ToString();
Pb_oshib.Text = Math.Round(DeltaPb,3).ToString();
pb_oshib_bk.Text = Math.Round(pb_a_1 * DeltaPb).ToString();
}
break;
case "Sr-90":
{
hv = (((n2m_1 - n2_l) - (n1m_1 - n1_l)) / ((1 - Math.Exp(-0.0108 * t2_l)) * aff_rad_l)) / A0_l;
var b10 = (double)1 - Math.Exp((double)-0.0108 * t2_l);
if (HZ.Checked == true)
{
sr_a = (n2_l - n1_l) / ((1 - Math.Exp(-0.0108 * t2_l)) * aff_rad_l * nav_1 * hv) * upar_1 /
vskr_1 * 1000;
sr_oshib = (2 *
Math.Pow(
(Math.Pow(
Math.Pow(
b10 +
((double)2 * (nf_1 + (n2_l - n1_l) / b10) / ((n2_l - n1_l) / b10)),
0.5) / (b10 * Math.Pow(((n2_l - n1_l) / b10 * t1_l), 0.5)), 2)
+
Math.Pow(
Math.Pow(
b10 +
((double)2 * (nf_1 + (n2m_1 - n1m_1) / b10) /
((n2m_1 - n1m_1) / b10)), 0.5) /
(b10 * Math.Pow(((n2m_1 - n1m_1) / b10 * t1_l), 0.5)), 2)) / 2, 0.5)) *
sr_a;
sr_oshib2 = (2 *
Math.Pow(
(Math.Pow(
Math.Pow(
b10 +
((double)2 * (nf_1 + (n2_l - n1_l) / b10) /
((n2_l - n1_l) / b10)), 0.5) /
(b10 * Math.Pow(((n2_l - n1_l) / b10 * t1_l), 0.5)), 2)
) / 2, 0.5)) * sr_a;
sr_a2 = (n2_l - n1_l) / ((1 - Math.Exp(-0.0108 * t2_l)) * aff_rad_l * nav_1 * 0.78) * upar_1 /
vskr_1 * 1000;
}
else
{

```

```

sr_a = (n2_1 - n1_1) / ((1 - Math.Exp(-0.0108 * t2_1)) * aff_rad_1 * hv) / nav_1 * upar_1 /
litrov_1;
sr_oshib = 2 *
Math.Pow(
(Math.Pow(
Math.Pow(
b10 +
((double)2 * (nf_1 + (n2_1 - n1_1) / b10) / ((n2_1 - n1_1) / b10)),
0.5) / (b10 * Math.Pow(((n2_1 - n1_1) / b10 * t1_1), 0.5))), 2)
+
Math.Pow(
Math.Pow(
b10 +
((double)2 * (nf_1 + (n2m_1 - n1m_1) / b10) /
((n2m_1 - n1m_1) / b10)), 0.5) /
(b10 * Math.Pow(((n2m_1 - n1m_1) / b10 * t1_1), 0.5))), 2) / 2, 0.5) *
sr_a;
var tempos = 2 *
Math.Pow(
(Math.Pow(
Math.Pow(
b10 +
((double)2 * (nf_1 + (n2_1 - n1_1) / b10) /
((n2_1 - n1_1) / b10)),
0.5) / (b10 * Math.Pow(((n2_1 - n1_1) / b10 * t1_1), 0.5))), 2)
+
Math.Pow(
Math.Pow(
b10 +
((double)2 * (nf_1 + (n2m_1 - n1m_1) / b10) /
((n2m_1 - n1m_1) / b10)),
0.5) / (b10 * Math.Pow(((n2m_1 - n1m_1) / b10 * t1_1), 0.5))), 2) /
2, 0.5);
proc.Text = tempos.ToString();
sr_a2 = (n2_1 - n1_1) / ((1 - Math.Exp(-0.0108 * t2_1)) * aff_rad_1 * nav_1 * 0.78) * upar_1 /
litrov_1;
}
//ВЫВОД
Sr_HV.Text = Math.Round(hv, 2).ToString();
Sr_a.Text = Math.Round(sr_a, 2).ToString();
sr_oshiv.Text = Math.Round(sr_oshib, 2).ToString();
sr_oshiv2.Text = Math.Round(sr_oshib2, 2).ToString();
Sr_axB.Text = Math.Round(sr_a2, 2).ToString();

```

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. СПРАВКА О ПРАКТИЧЕСКОМ ПРИМЕНЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УТВЕРЖДАЮ

Директор АО «ВНИИХТ» по научной работе,
доктор химических наук


А.В. Ананьев
«25» ноября 2016



СПРАВКА

О практическом применении результатов научных исследований
С.С. Писаненко - научного сотрудника Испытательной лаборатории
радиационного контроля АО «ВНИИХТ», полученных в процессе работы над
кандидатской диссертацией на тему «Методические основы и инструменты
обработки информации об активности радионуклидов в пробах
испытательной лаборатории радиационного контроля»

1. Программное обеспечение для ввода-вывода данных о характеристиках проб технологических продуктов и образцов окружающей среды, поступающих на измерения в ИЛРК.
Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 19 апреля 2012.
Размещение программы – локальная вычислительная сеть ИЛРК.
Ответственный за эксплуатацию – с.н.с. А.М. Могирев.
2. Программное обеспечение для ввода-вывода данных о предварительной пробоподготовке образцов технологических продуктов и образцов окружающей среды, поступающих на измерения в ИЛРК.
Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 17 сентября 2012.
Размещение программы – локальная вычислительная сеть ИЛРК.
Ответственный за эксплуатацию – н.с. С.С. Писаненко.
3. Адаптация программного обеспечения MySQL, phpMyAdmin и др. для обработки информации о пробах в базе данных, поступающих на измерения в ИЛРК.
Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 16 октября 2012.
Размещение программ – локальная вычислительная сеть ИЛРК.
Ответственный за эксплуатацию – с.н.с. А.М. Могирев.
4. Программное обеспечение для ввода-вывода данных о подготовке счетных образцов для альфа – спектрометрии, поступающих на измерения в ИЛРК.

Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 24 июня 2013.
 Размещение программы – локальная вычислительная сеть ИЛРК.
 Ответственный за эксплуатацию – вед. инж. Н.Ю. Позднякова.

5. Программное обеспечение для ввода-вывода данных о подготовке счетных образцов для гамма – спектрометрии, поступающих на измерения в ИЛРК.
 Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 24 июня 2013.
 Размещение программы – локальная вычислительная сеть ИЛРК.
 Ответственный за эксплуатацию – н.с. С.С. Писаненко.
6. Программное обеспечение для ввода-вывода данных о подготовке счетных образцов для альфа-бета-радиометрии, поступающих на измерения в ИЛРК.
 Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 24 июня 2013.
 Размещение программы – локальная вычислительная сеть ИЛРК.
 Ответственный за эксплуатацию – вед. инж. Н.Ю. Позднякова.
7. Программное обеспечение для расчета активностей и погрешностей в счетных образцах для альфа – спектрометрии, поступающих на измерения в ИЛРК.
 Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 3 февраля 2015.
 Размещение программы – локальная вычислительная сеть ИЛРК.
 Ответственный за эксплуатацию – н.с. С.С. Писаненко.
8. Программное обеспечение для расчета активностей и погрешностей в счетных образцах для альфа-бета-радиометрии, поступающих на измерения в ИЛРК.
 Дата ввода в постоянную эксплуатацию – 3 февраля 2015.
 Размещение программы – локальная вычислительная сеть ИЛРК.
 Ответственный за эксплуатацию – н.с. С.С. Писаненко.

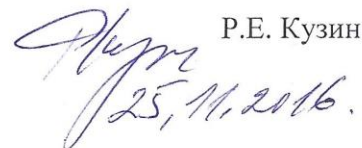
Справку подготовили:

Начальник ИЛРК,
 кандидат биологических наук



Н.В. Ключкова

Главный научный сотрудник ИЛРК,
 доктор технических наук, профессор



Р.Е. Кузин

25.11.2016.