

На правах рукописи

Писаненко Сергей Сергеевич

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

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2017

Работа выполнена на кафедре Информационных систем в химической технологии (ИСХТ) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технологический университет» (Институт тонких химических технологий ИТХТ) и в испытательной лаборатории радиационного контроля АО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии» (АО «ВНИИХТ», предприятие Госкорпорации «Росатом»).

Научный руководитель

Кузин Рудольф Евгеньевич,

доктор технических наук, профессор ИСХТ ИТХТ, главный научный сотрудник испытательной лаборатории радиационного контроля АО «ВНИИХТ», предприятие Госкорпорации «Росатом».

Официальные оппоненты:

Соболев Андрей Игоревич,

доктор технических наук, профессор, советник по научно-техническим вопросам ФГУП «РосРАО».

Филаретов Геннадий Федорович,

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры управления и информатики ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Ведущая организация

Акционерное общество «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» (АО «ВНИИПромтехнологии»)

Защита состоится 27 июня 2017 года в 11:00 на заседании диссертационного совета Д 212.204.16 при РХТУ им. Д. И. Менделеева в конференц-зале по адресу: 125047, г. Москва, Миусская пл., д. 9, ауд. 443.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РХТУ им. Д. И. Менделеева и на сайте <http://diss.mustr.ru>.

Автореферат диссертации разослан _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.204.16

Дударов С.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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.

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.

При выполнении инженерно-изыскательских работ на этапах освоения урановорудных районов, при разработке и эксплуатации тонких химических технологий переработки урановых руд и облученного топлива, при обращении с радиоактивными отходами (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». 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.

В компетенцию 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 (ИС) ИЛРК АО «ВНИИХТ» основные массивы информации хранились в рабочих журналах, и результаты обрабатывались вручную. В следствие этого 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.

Актуальность и важность решаемой в диссертации новой научной задачи определяется широкой распространенностью ИЛРК в химической, металлургической, урановой, нефтехимической, газовой 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 и других исследователей. 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 страны.

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.

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 пробах 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 спектрометрии 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 публикаций 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.

Оглавление диссертации

ВВЕДЕНИЕ

Глава 1. Системный анализ существующих процессов и операций обработки данных радиационного контроля

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

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

1.3. Основные источники проб для испытательной лаборатории радиационного контроля

1.4. Оснащенность испытательной лаборатории радиационного контроля аттестованными методиками выполнения измерений

1.5. Аппаратурно-техническое обеспечение ИЛРК средствами измерений

1.5.1. Типы и характеристики детекторов

1.5.2. Защита детекторов

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

1.7. Выводы

Глава 2. Разработка модели алгоритмов и процедур функционирования информационной системы испытательной лаборатории радиационного контроля

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

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

2.3. Разработка модели базы данных информационной системы

2.4. Обоснование выбора СУБД для информационной системы

2.5. Выводы

Глава 3. Разработка алгоритма обработки данных с использованием аттестованных методик измерений

3.1. Структурная модель операций в методиках выполнения измерений

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

3.3. Формализация расчета активностей радионуклидов в низкоактивных пробах

3.4. Разработка алгоритма обработки данных в измерениях низкоактивных проб

3.5. Выводы

Глава 4. Разработка информационной системы испытательной лаборатории радиационного контроля АО «ВНИИХТ»

4.1. Назначение и архитектура информационной системы

4.2. Серверные приложения

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

4.4. Программа обработки данных радиационного анализа

4.5. Краткая характеристика результатов практического использования информационной системы

4.6. Выводы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ГЛОССАРИЙ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ И ПОНЯТИЙ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Приложение 1. Фрагмент кода основных окон программы обработки данных радиационного контроля

Приложение 2. Фрагмент кода программы для расчета активностей и погрешностей определяемых радионуклидов для альфа и бета измерений

Приложение 3. Справка о практическом применении результатов научных исследований

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрены актуальность работы и ее практическая ценность. Сформулирована цель работы и поставлены задачи. Определены решения, необходимые для реализации поставленной цели. Обоснованы научная новизна, методы исследований и практическая значимость результатов исследования.

В **первой главе «Системный анализ существующих процессов и операций обработки данных радиационного контроля»** рассмотрены 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, а также нормативно-правовая документация в сфере обеспечения единства измерений данной области исследования. Определена роль типовой испытательной 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, а также о выходных данных лаборатории с целью выявления научно-технических проблем информационной поддержки и процесса переработки информации.

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 технологии. При этом также были рассмотрены источники, в которых были приведены результаты исследования метрологического характера и разработки специального программного обеспечения.

Основная роль ИЛРК в подготовке решений по оценке радиационной безопасности объектов анализа заключается в проведении измерений радиационной активности и определении 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 пятидесятилетний опыт в сфере радиационного мониторинга, но с непрерывным введением новых регламентирующих документов в сфере обеспечения единства измерений и с быстрым совершенствованием аппаратного сегмента и ПО постоянно требуется существенная работа по модернизации структуры системы обработки информации ИС ИЛРК на основе системного подхода и ИТ.

Согласно новым метрологическим требованиям все результаты измерений радиационного контроля должны представляться с указанием характеристик погрешности, показателей достоверности результата или неопределенности измерений. Новые требования распространяются также на средства измерений и их составные части, эталоны единиц величин, стандартные образцы, методики измерений, программное обеспечение, применяемые при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии.

Основными источниками радиоактивных проб являются химико-технологические предприятия ядерного топливного цикла (ЯТЦ) ГК «Росатом» и технологические подразделения ВНИИХТ. Также существуют отдельные заказы на проведение экологического мониторинга промышленных площадок различных организаций.

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, называемое вековым равновесием. 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.

Оснащенность ИЛРК аттестованными методиками выполнения измерений.

При измерении радиационной активности в ИЛРК используется инструментальный гамма-спектрометрический и радиометрический методы, с предварительной пробоподготовкой счетных образцов радиохимическим путем. Лаборатория имеет ряд аттестованных методик выполнения измерений (МВИ), разработанных и поддерживаемых ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева».

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.

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*10 ⁵ Бк/кг	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*10 ⁵ Бк/кг	не более 30
Минеральное сырье и продукты его переработки	5 – 1*10 ⁵ Бк/кг	не более 30
Th-230, -232, -228		
Твердые ториевые материалы	0.1 – 30 Бк/кг	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*10 ⁵ Бк/кг	не более 30
Технологические пробы	10 - 5*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*10 ⁵ Бк/кг	не более 30
Технологические пробы	5 – 5*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*10 ⁴ Бк/кг	не более 30
Воды и жидкие технологические материалы	0.5 – 500 Бк/л	не более 30
Σβ		
Пробы водных сред	0.2 – 1000 Бк/кг	не более 50
Σα		
Вода питьевая	0.05 – 400 Бк/кг	не более 50

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. При этом считают, что для всех радионуклидов химический выход при выделении одинаков. Активность радионуклидов в пробе рассчитывают, сравнивая величины скоростей счета в пиках излучения, учитывая при этом активность раствора внесенной метки.

Активность гамма-излучающих нуклидов в счетном образце измеряют методом непосредственной оценки на гамма-спектрометре. 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, объема 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.

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 (АЦП), и компьютера.

Гамма спектрометры состоят из полупроводникового детектора (Ge, HPGe), криостата с жидким азотом для поддержания низкой температуры детектора, свинцовой защиты для понижения естественного фона, блока высокого напряжения, предусилителя, усилителя, аналого-цифрового преобразователя, компьютера.

ЛВ-770 – низкофоновый, десятиканальный альфа- бета-радиометр, состоящий из камерного отсека закрытый свинцовой защитой, блока сравнения сигналов, АЦП, блока высокого напряжения, компьютера.

Системный анализ информационных потоков в ИС ИЛРК, позволил выявить отсутствие системы управления данными и общей структуры хранения данных, получаемых на отдельных этапах обработки информации (Рис. 1). Решением проблемы централизованного хранения и управления данными является реляционная база данных (БД) в качестве основы ИС ИЛРК и специальное программное обеспечение (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 и формы генерации протоколов.

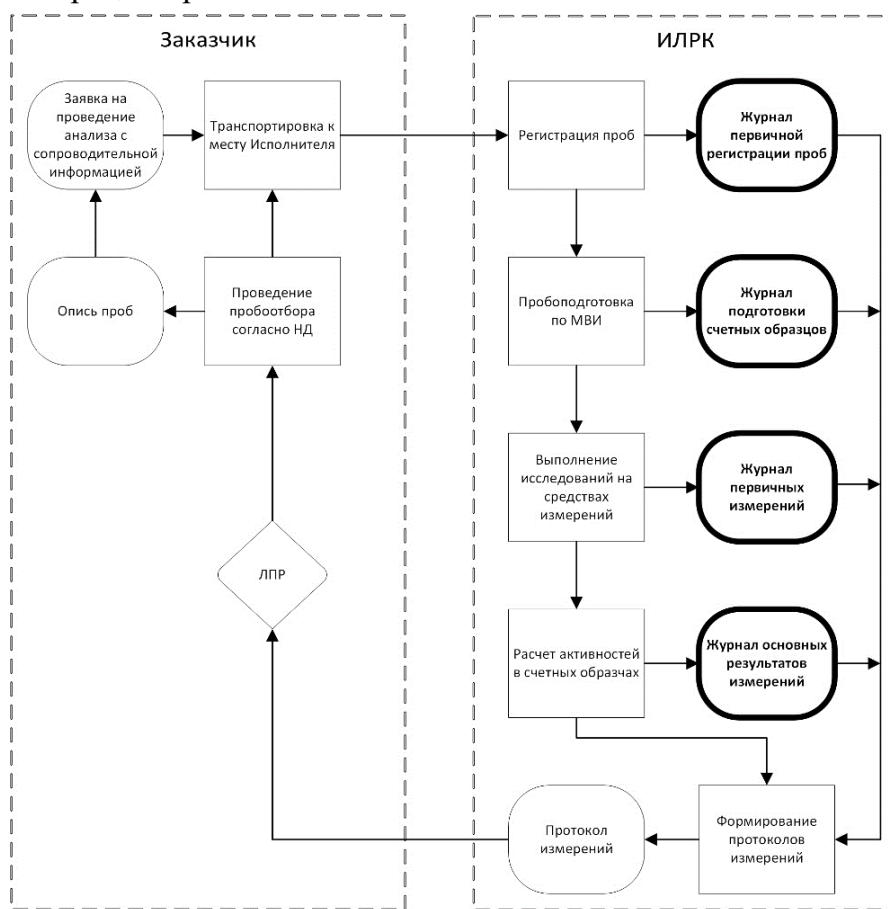


Рис. 1 Схема информационных потоков ИЛРК

Для решения поставленных задач в исследовании следующим этапом стала разработка комплекса функциональных информационных моделей, позволяющих исследовать структуру, параметры и характеристики ИС ИЛРК и на их основе разработка модели базы данных и СПО.

Во второй главе «Разработка модели алгоритмов и процедур функционирования информационной системы испытательной лаборатории радиационного контроля» использовалась методология IDEF (ICAM Definition), позволяющая исследовать структуру, параметры и характеристики ИС ИЛРК.

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). Общая методология IDEF состоит из трех частных методологий моделирования в графическом представлении: IDEF0, IDEF1, IDEF2. К настоящему времени наибольшее применение и распространение имеют IDEF0 и IDEF1 (IDEF1X) методологии.

На основе системного анализа были построены функциональные модели в нотации IDEF0, описывающие информационное взаимодействие лаборатории и заказчика.

Основная контекстная диаграмма функциональной модели процессов обработки информации в ИС представлена на Рис. 2.

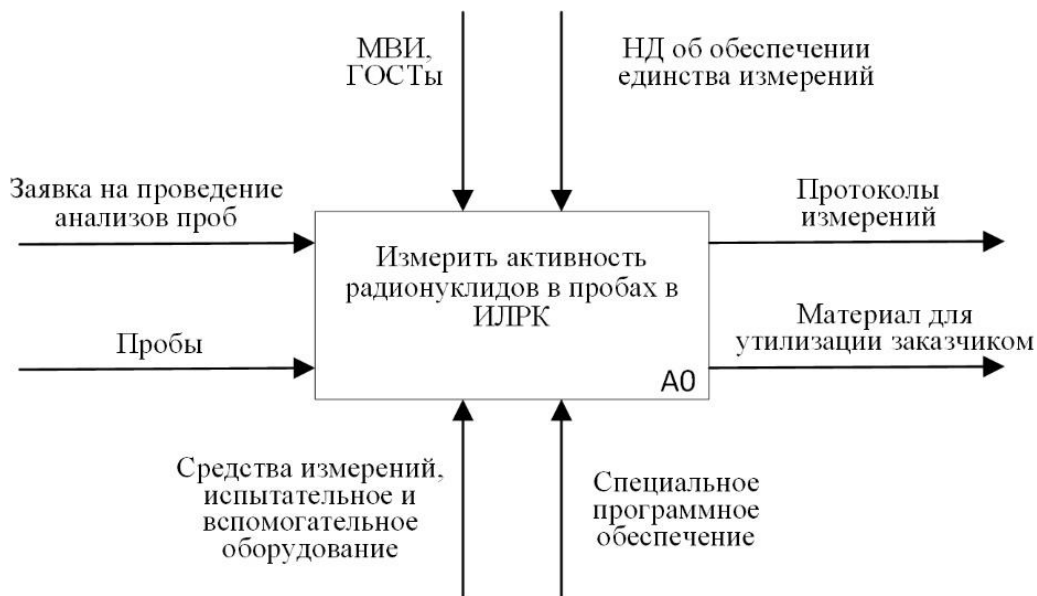


Рис. 2 Основная контекстная диаграмма А-0 верхнего уровня

Единственная функция в контекстной диаграмме верхнего уровня может быть разложена на подфункции путем создания дочерней диаграммы. Посредством создания дочерней диаграммы следующего, более низкого уровня, на которой все или некоторые функции также могут быть разложены на составные части может быть разложена на составные части каждая из этих подфункций. Декомпозиция первого уровня блока А-0 контекстной диаграммы показана на Рис. 3.

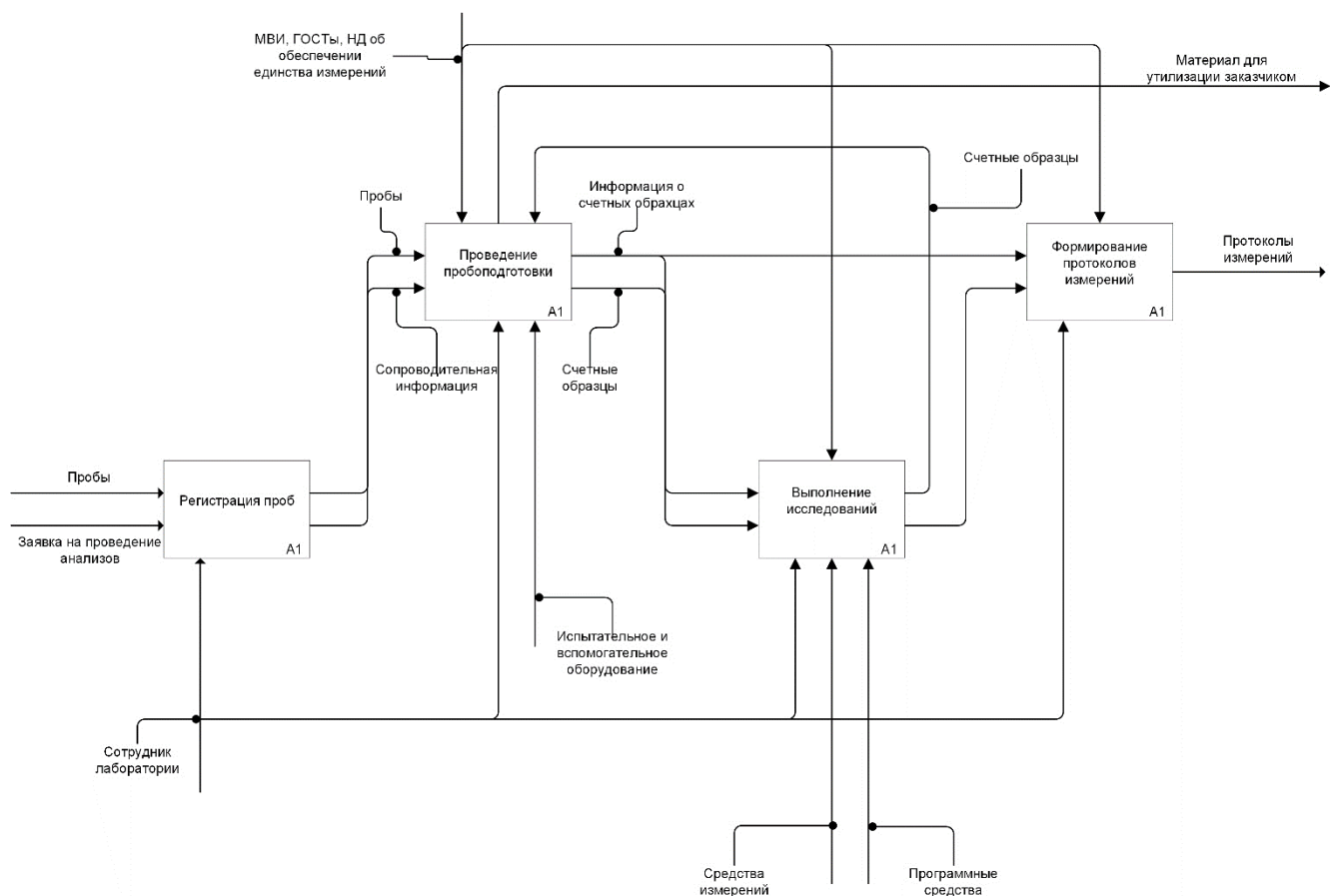


Рис. 3 Декомпозиция функционального блока А-0

На основе разработанных информационных моделей процессов обмена информацией была разработана база данных объединенного централизованного хранения рабочих журналов и ее структура в ИС ИЛРК. При построении структуры базы данных была спроектирована реляционная модель данных в нотации IDEF1X (Рис. 4). Модель включает в себя схему основного хранилища данных (о пробах, счетных образцах и результатах измерений), дополненную справочными таблицами.

Описание таблиц БД:

customer – таблица, содержащая информацию о заказчике;

Staff – таблица, содержащая информацию о пользователях, работающих с системой;

Spectrometer – таблица, содержащая информацию о приборах;

Input_samples – таблица, содержащая информацию о характеристиках входящих проб, о месте и времени отбора, времени регистрации, виде и количестве проб;

Samples – таблица, содержащая информацию об измеряемых образцах. Таблица содержит данные по времени начала анализа, пробоподготовке, виде анализа, вносимых метках, номер подложки для измерения;

result – таблица, содержащая информацию о результатах измерений, об активности радионуклидов, времени измерения, изотопном соотношения и др.

Также был обоснован выбор СУБД в качестве СУБД MySQL. Данная система управления представляет собой высокопроизводительную многопроцессорную, многопользовательскую СУБД, построенную с использованием архитектуры клиент/сервер. Разработанная, прежде всего для обеспечения скорости и стабильности, она стала за

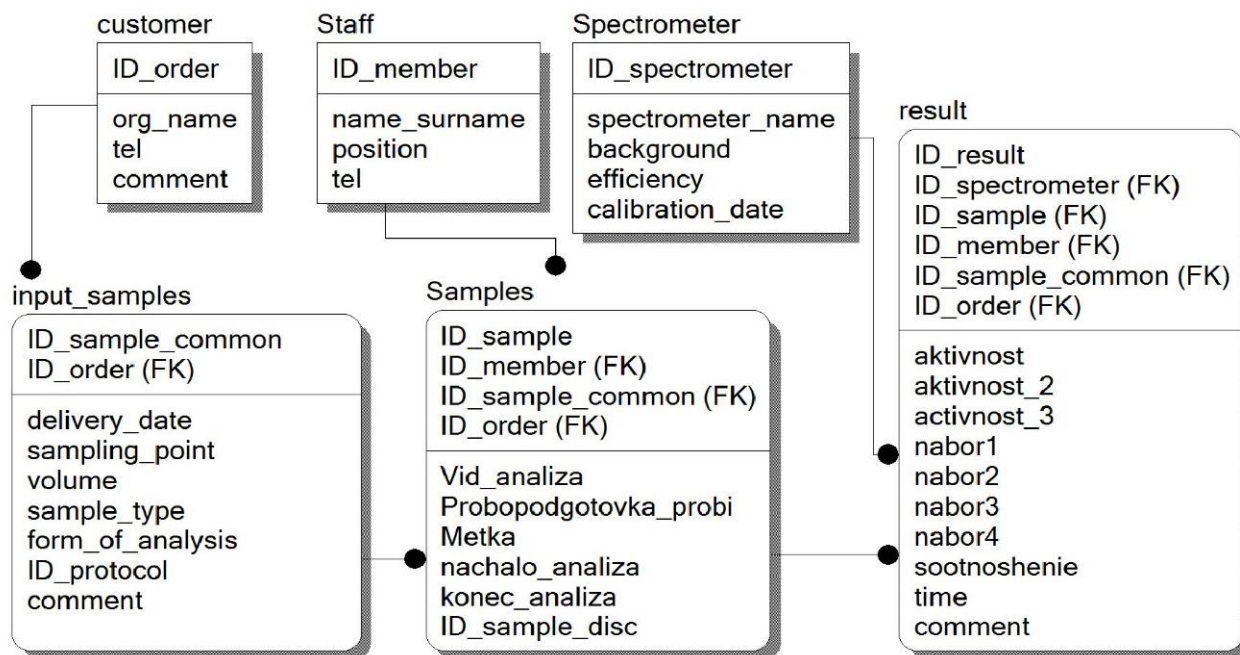


Рис. 4 IDEF1X (ER) модель БД ИС ИЛРК.

последние несколько лет наиболее популярным программным приложением, работающим с базами данных с использованием возможностей Internet.

СУБД MySQL существует как в версии, предназначенной для UNIX-платформ, так и для других операционных систем, включая ОС Linux, FreeBSD, MacOS и Wndows. Она работает на самых различных аппаратных платформах и поддерживает самые различные аппаратные конфигурации, начиная с устаревших 386-х процессоров и заканчивая самыми современными ЭВМ.

В третьей главе «Разработка алгоритма обработки данных с использованием аттестованных методик измерений» представлена структурная модель методик выполнения измерений, описывающая все этапы выполнения измерений (Таблица 2). Здесь также представлен алгоритм обработки данных радиационного анализа в программах, входящих в состав средств измерений, и разработанный алгоритм обработки информации спектров в низкоактивных пробах.

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

МВИ, помимо общей информации об области применения, нормативной базе, оформлении отчетной документации, обозначений и определений в тексте, содержат обязательные разделы, описывающие требования к точности получаемых результатов измерений, характеристикам и перечню используемых СИ, составу, квалификации и численности персонала, а также 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.

Таблица 2. Структурная таблица информационной модели операций в процедурах 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, рН-метр 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.

Операции № 7-8 информационной модели операций в методиках выполнения измерений выполняются с помощью специального программного обеспечения (Spectraline GP, ADA), описанного подробно в параграфе 4.3. диссертации.

Большое количество проб, поступающих в ИЛРК, связаны с экологическим мониторингом. Активность радионуклидов в таких 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 операции 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 специальном программном обеспечении, входящим 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.

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 содержащих информацию о более, чем 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 Бруксейвской 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.

После расчета активностей погрешностей радионуклидов в счетных образцах, оператор заносит полученную информацию в базу данных. Предложенный автором алгоритм обработки данных в измерениях низкоактивных проб представлен на Рис. 5.

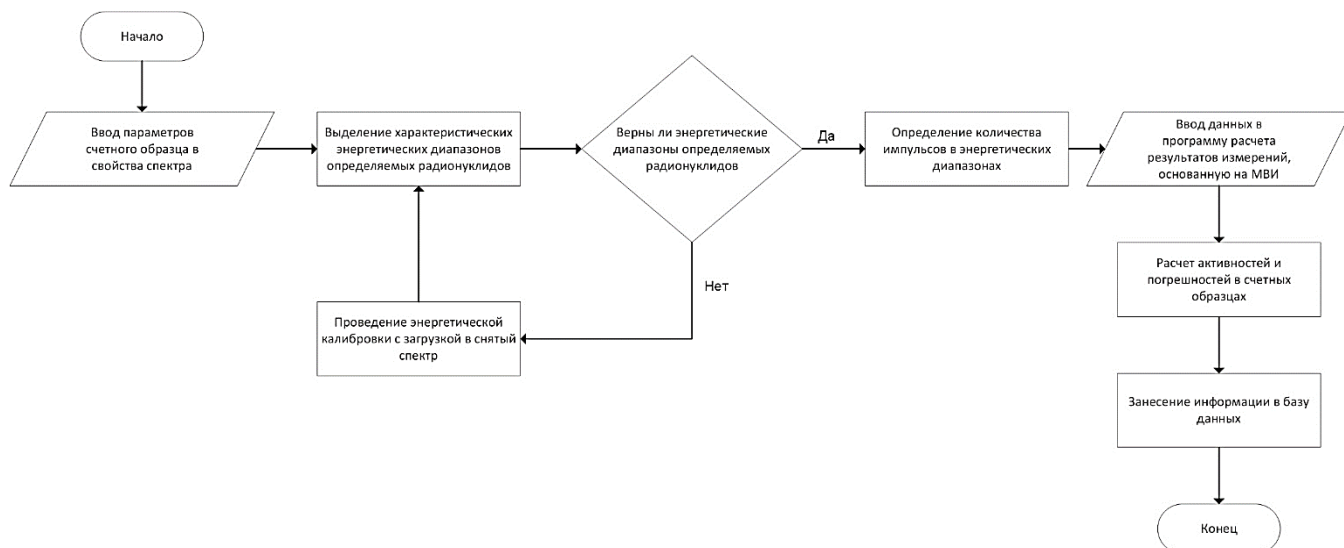


Рис. 5 Блок-схема алгоритма обработки данных в измерениях низкоактивных проб

В четвертой главе «Разработка информационной системы испытательной лаборатории радиационного контроля АО «ВНИИХТ» излагается архитектура информационной системы, результаты выполнения работ по созданию ИС ИЛРК, включающую аппаратно-программный комплекс на основе клиент-серверной системы, объединенной в одну ЛВС.

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

На Рис. 6 изображена аппаратная часть информационной системы радиационного контроля АО «ВНИИХТ. Она представляет собой совокупность ЭВМ, объединенных в одну ЛВС.

В качестве серверного программного обеспечения была выбрана операционная система (ОС) FreeBSD. Выбор ОС обусловлен тем, что она предоставляется по свободной лицензии BSD, следовательно, не требует материальных затрат.

Администрирование СУБД осуществляется веб-приложением phpMyAdmin. 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.

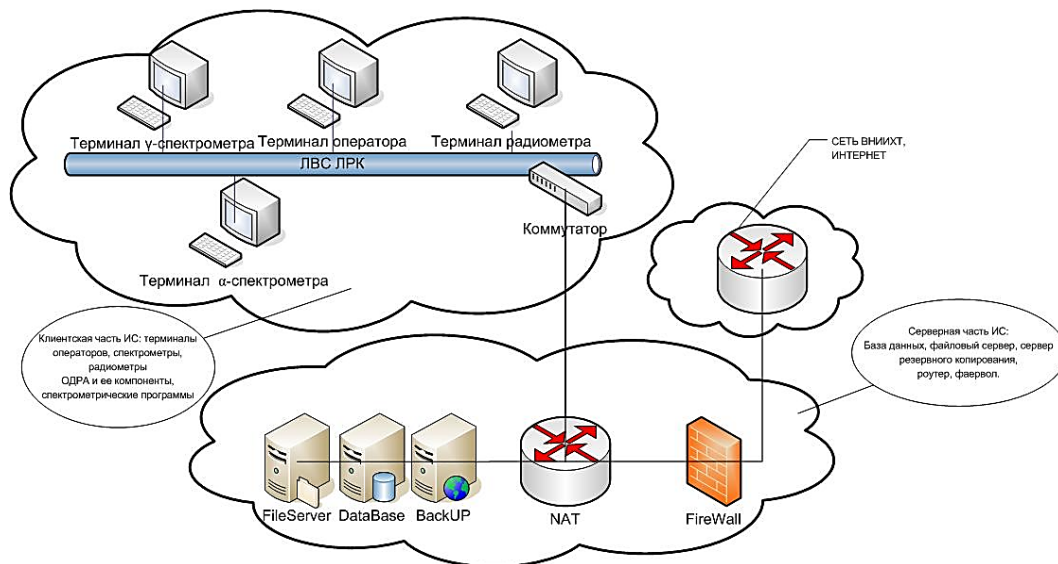


Рис. 6. Схема архитектуры «клиент-сервер» информационной системы испытательной лаборатории радиационного контроля

Клиентские приложения. 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.

Программный комплекс SpectraLineGP предназначен для проведения спектрометрических измерений и прецизионной обработки гамма-спектров.

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

UMS – ПО входящий в состав радиометра альфа-бета излучений предназначено для автоматических измерений потоков альфа и бета излучений.

Некоторые алгоритмы и данные, используемые в методиках определения активностей в образцах, реализует программное обеспечение 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. В связи с этим был разработан алгоритм обработки спектрометрических данных радиационного анализа, описанный в Главе 3 диссертации, и написан модуль расчета для низкоактивных проб с графической оболочкой и встроен в программу обработки данных радиационного анализа. В качестве ОС используется MS Windows как наиболее распространенная и удобная для работников лаборатории, поскольку на сегодняшний момент является самой распространенной.

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 в базе данных, с последующим внесением необходимой информации о пробах, обработке результатов включенными в программу методами и формировании

выходных протоколов, которые включают информацию об активности пробы по различным нуклидам.

Графический интерфейс пользователя программы выполнен в простой форме.

В нем присутствуют меню:

Просмотр БД – просмотр необходимой информацией всей БД.

Добавить – меню для добавления в БД новой пробы\диска или добавление в БД дополнительных данных о измерении.

Обработка – вызывает окно для обработки выбранных проб с занесением результатов в БД. В этом меню содержится комплекс программ для расчета и корректировки значений активностей радионуклидов для α , β и γ - измерений (Рис. 7).

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 совместных измерениях α -спектрометрии и α , β -радиометрии.

Расчет активностей и погрешностей осуществляется по методикам выполнения измерений удельной (объемной) активности радионуклидов в материалах и объектах окружающей среды. Все расчетные формулы приведены в тексте диссертации.

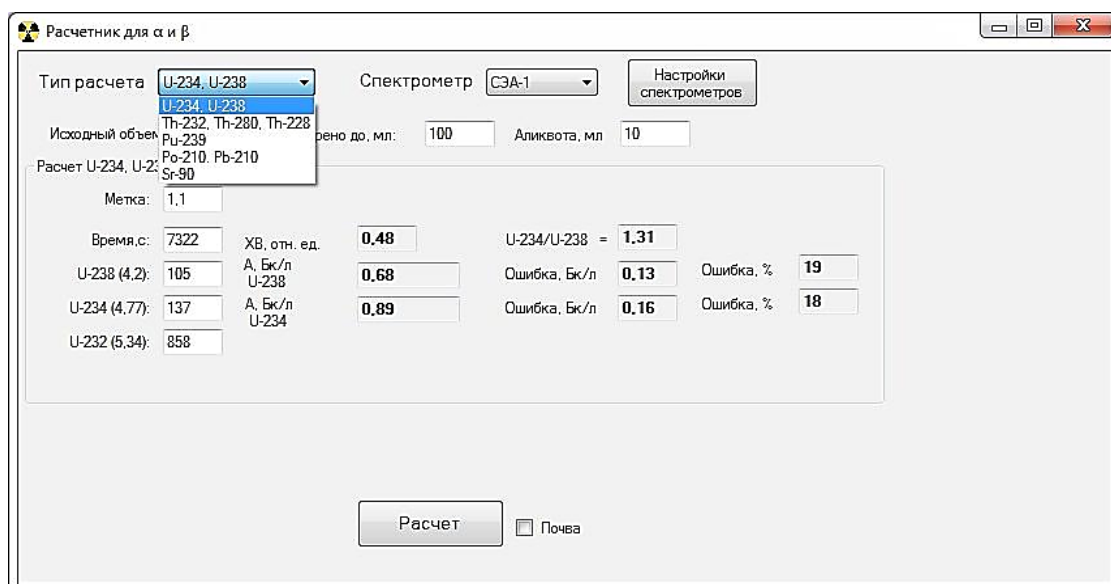


Рис. 7. Экранная форма расчета активностей радионуклидов и погрешностей в пробах α -спектрометрии и β -радиометрии

В программах использованы основные соотношения для вычисления удельной (объемной) активности и погрешностей измерений:

Активность (A_x , Бк) определяемого радионуклида в навеске вычисляют по формуле:

$$A_x = A_m \frac{n_x - n_{фх} - n_{прх}}{n_m - n_{фм}} \quad (1)$$

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, c^{-1} ;

$n_{фх}$ - скорость счета собственного фона спектрометра в пике определяемого нуклида, c^{-1} ;

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

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

$n_{фм}$ - скорость счета собственного фона спектрометра в пике метки, c^{-1} .

Значения величин $n_{фх}$ и $n_{фм}$, а также эффективности приборов определяют периодически в соответствии с инструкцией по эксплуатации альфа-спектрометра, используя фоновые спектры. Программа позволяет редактировать и хранить фоновые значения и эффективности приборов. Данные сохраняются в отдельных файлах с расширением .conf, тем самым упростив хранение и редактирование этих значений.

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

$$n_{прх} = (n_m - n_{фм}) \Pi_x \quad (2)$$

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

Вычисление относительной суммарной погрешности определения удельной или объемной активности нуклидов $\delta_{\Sigma m}$ и $\delta_{\Sigma v}$ проводится согласно:

$$\delta_{\Sigma m} = \sqrt{\delta_x^2 + \theta_m^2} \quad (3)$$

$$\delta_{\Sigma v} = \sqrt{\delta_x^2 + \theta_v^2} \quad (4)$$

где, δ_x - относительная погрешность измерения активности нуклидов в пробе;

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

Абсолютная доверительная погрешность результата измерения удельной или объемной активности определяется выражением:

$$\Delta_{\Sigma xm} = \delta_{\Sigma m} A_m \quad \text{или} \quad \Delta_{\Sigma xv} = \delta_{\Sigma v} A_v \quad (5)$$

Всё разработанное программное обеспечение прошло длительное тестирование на контрольных задачах. Созданная ИС ИЛРК «ВНИИХТ» находится в опытно-промышленной эксплуатации с февраля 2014 года. Справка о внедрении, утвержденная директором АО «ВНИИХТ» по научной работе, включена в Приложение 3.

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 системного анализа ИЛРК:

- разработан комплекс алгоритмов обработки информации в ИЛРК на базе 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.

Публикации по теме диссертации

В журналах, включенных в перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

1. 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.

2. 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

3. 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.

Другие издания

4. 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.

5. 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. Спб.: Изд ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, 2011, с.174-178.

6. 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.

7. 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.

8. Писаненко, С.С. Определение и отработка элементов подготовки к проведению процессов рекультивации хвостохранилищ на примере отработанного уранового месторождения Табашар (Таджикистан). / Н.В. Ключкова, В.Ю. Кольцов, С.С. Писаненко. // Материалы VIII Всероссийской конференции по радиохимии «Радиохимия - 2015», 28 сентября - 2 октября 2015, с. 282.

Автор выражает благодарность и признательность своим коллегам и наставникам, которые помогли ему в проведении данной большой научно-исследовательской и практической работы и в подготовке диссертации к защите:

- научному руководителю Кузину Рудольфу Евгеньевичу, доктору технических наук, профессору, главному научному сотруднику испытательной лаборатории радиационного контроля АО «ВНИИХТ», профессору кафедры ИСХТ ИТХТ;

- заведующему кафедрой ИТХТ Корнюшко Валерию Федоровичу, доктору технических наук, профессору, Заслуженному деятелю науки Российской Федерации, Лауреату премии Правительства России в области образования;

- Ключковой Наталье Владимировне, кандидату биологических наук, начальнику испытательной лаборатории радиационного контроля АО «ВНИИХТ»;

- Прокопчику Ванадью Ивановичу, кандидату технических наук, ведущему научному сотруднику испытательной лаборатории радиационного контроля АО «ВНИИХТ»;

- Поздняковой Наталье Юрьевне, ведущему инженеру испытательной лаборатории радиационного контроля АО «ВНИИХТ»;

- Могиреву Александру Максимовичу, кандидату технических наук, ассистенту кафедры автоматизированных систем управления института ИТАСУ национального исследовательского технологического университета МИСиС.