

*На правах рукописи*



**Храмов Алексей Владимирович**

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА  
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ  
ПРИ ОБРАЩЕНИИ С РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ  
И ОТХОДАМИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Специальность 05.26.02  
«Безопасность в чрезвычайных ситуациях (энергетика)»

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург - 2012 г.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет" на кафедре "Управление и защита в чрезвычайных ситуациях"

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор *Гуменюк Василий Иванович*

Официальные оппоненты:  
*Симановский Юрий Михайлович*, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ГИ «ВНИПИЭТ», начальник лаборатории;

*Таиров Таир Надирович*, кандидат технических наук, профессор, Санкт-Петербургский филиал НОУ ДПО «ЦИПК», директор.

Ведущая организация – ФГУП «НПО Радиевый институт имени В.Г. Хлопина», Санкт-Петербург.

Защита состоится «24» апреля 2012 г. в 18:00 на заседании диссертационного совета Д 212.229.04 в ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу:

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29,  
в аудитории 411 ПГК

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан «23» марта 2012 г.

Отзыв на автореферат, заверенный печатью учреждения, в двух экземплярах просим направить по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Факс: (812)-710-3752

E-mail: kg1210@mail.ru

Ученый секретарь  
диссертационного совета



*Григорьев К.А.*

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы.**

Важнейшей задачей обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях является снижение рисков возникновения чрезвычайной ситуации и уменьшение возможных негативных последствий в случае несанкционированного оборота радиоактивных веществ и отходов. Актуальность выбранного исследования определяется необходимостью совершенствования системы прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций при обращении с радиоактивными веществами и отходами, которые имеются в большом количестве на объектах ядерной энергетики. Современные средства защиты опасных объектов недостаточно эффективны против антропогенных и природных факторов воздействия, как показал опыт аварии на японской АЭС в Фукусима. Можно выделить целый ряд природных и техногенных факторов, абсолютная защита от которых по меньшей мере проблематична, особенно землетрясение, цунами и другие.

Разработка автоматизированной системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций при обращении с радиоактивными веществами и отходами объектов ядерной энергетики может служить основой мониторинга оборота радиоактивных веществ и отходов, прогнозирования последствий техногенных опасностей, определения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, их последствий и оценки ущерба в Единой государственной системе предупреждения чрезвычайных ситуаций (РСЧС).

**Целью работы** является разработка автоматизированной системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций при обращении с радиоактивными веществами и отходами объектов ядерной энергетики для повышения защищённости населения и окружающей среды.

**Научная задача работы.** На основе математической статистики и теории реляционных баз данных разработать научно-методический аппарат информационного обеспечения учёта и контроля радиоактивных веществ и отходов в системе мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

**Объект исследования.** Мониторинг и прогнозирование как система наблюдения, учёта, первичного анализа и оценки при обороте радиоактивных веществ и радиоактивных отходов на объектах ядерной энергетики.

**Предмет исследования.** Закономерности, раскрывающие зависимости безопасного оборота радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, оценки вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций.

**Метод исследования.** Математические методы алгебры логики, теории реляционных баз данных, теории вероятностей, теории аэрогидродинамики.

### **Научная новизна работы состоит в следующем:**

1. Разработаны алгоритмы и программные средства обработки информации в автоматизированной системе мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций при обращении с радиоактивными веществами и отходами объектов ядерной энергетики.
2. Выявлены взаимосвязь и различие информации из разных форм отчетности, предназначенных для учета и контроля радиоактивных веществ

и радиоактивных отходов в системе прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций.

3. Разработаны методики оценки радиационных рисков для объектов энергетики в автоматизированной системе прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций.
4. Доказана необходимость наличия территориальных информационно-аналитических центров для отраслей, имеющих большое количество объектов учета в системе прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций.

**Практическая ценность работы.** Разработка автоматизированной системы прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций путём строгого учета и контроля ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов является не только задачей установления факта наличия и/или отсутствия, но и неотъемлемой составной частью обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях, в связи с этим данная задача рассматривается комплексно в техническом, организационном и информационном аспектах.

Проведенный системный анализ информационных потоков и выявление взаимосвязей различных форм отчетности по учёту и контролю радиоактивных веществ и радиоактивных отходов позволили разработать эффективную информационную систему на базе современных компьютерных технологий с многоступенчатым контролем обрабатываемой информации об образовании, перемещении, накоплении и переработке радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в Единой государственной системе предупреждения чрезвычайных ситуаций (РСЧС).

Созданная методика оценки радиационных рисков для объектов ядерной энергетики позволяет вырабатывать научно обоснованные рекомендации по совершенствованию системы прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций.

Научные результаты диссертации вносят существенный вклад в теорию и практику прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций путем создания информационной системы наблюдения, контроля и учета объектов, используемых в ядерной энергетике и обладающих качествами, потенциально опасными для здоровья людей и окружающей экологической обстановки с целью снижения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций.

Результаты диссертации могут быть использованы для совершенствования системы прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций, элементы которой могут быть предложены для территориальных подсистем и для единой общегосударственной автоматизированной системы учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов

Научные выводы и результаты могут найти применение и получить дальнейшее развитие как в органах исполнительной власти, так непосредственно и на предприятиях, обладающих радиоактивными веществами и радиоактивными отходами.

**Реализация результатов работы.** Результаты диссертационного исследования внедрены в процессе выполнения научно-исследовательской работы «Разработка и внедрение аппаратно-программного комплекса ведомственного информационно-аналитического центра по наличию и перемещению радиоактивных веществ, радиоактивных отходов и ядерных материалов на предприятиях и в организациях российской судовой ядерной энергетики» в 2002-2005 годах. На основе данной НИР в настоящее время выполняется опытно-конструкторская разработка «Внедрение аппаратно-программного комплекса ведомственного информационно-аналитического центра по наличию и перемещению радиоактивных веществ, радиоактивных отходов и ядерных материалов на предприятиях и организациях».

**Достоверность** полученных результатов доказывается:

- проверкой нормативной базы по вопросам учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов на федеральном и ведомственном уровнях в рамках системы прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций;
- тестированием программ, предназначенных для территориального учёта и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов на предприятиях ядерной энергетики;
- проверкой соответствия методики оценки рисков общепринятым методикам, адаптированным для конкретных технологических процессов на конкретных объектах энергетики.

**Положения и результаты, полученные лично автором и выносимые на защиту**

1. Автоматизированная система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций при обращении с радиоактивными веществами и отходами объектов ядерной энергетики в Единой государственной системе прогнозирования чрезвычайных ситуаций.
2. Методика оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций для объектов энергетики при обращении с радиоактивными веществами и отходами.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на Международной конференции «Региональная информатика-2004 РИ-2004», Санкт-Петербург, 22-24 июня 2004г, Межрегиональной конференции «Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2005)», Санкт-Петербург, 14-16 июня 2005г, Международной научно-технической конференции «Экологические проблемы утилизации атомных подводных лодок», Владивосток, 19-25 сентября 2002 г, Всероссийском семинаре-совещании «Система государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов», Санкт-Петербург, 5-8 июля 2004 г, научно-практической конференции "Безопасность в чрезвычайных ситуациях", 27-29 апреля 2011г.

**Публикации по теме диссертации.** По результатам выполненных исследований опубликовано 14 печатных работ, три из них в издании, рекомендованном ВАК.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Объем диссертации составляет 154 страниц, 32 рисунков, 7 таблиц, список литературы из 74 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы, формулируется цель, объект и предмет диссертационного исследования, отражаются решенные задачи, научная новизна работы и ее практическая значимость. Приводится структура диссертационной работы.

**Первая глава** посвящена вопросам прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций при обороте радиоактивных веществ и отходов. Показана необходимость системы строгого учёта радиоактивных веществ и отходов как важнейшей составной части системы прогнозирования и мониторинга на объектах ядерной энергетики. Автором рассмотрено современное состояние информационной базы мониторинга радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. Построение рыночной экономики привело к необходимости разработки новых принципов организации системы прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций, а возникновение и рост международного терроризма потребовало ужесточения контроля за оборотом радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. В работе обосновывается необходимость системного подхода при создании информационной базы мониторинга радиоактивных веществ и радиоактивных отходов.

На рисунке 1 приведена общая схема системы прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций при обращении с радиоактивными веществами и отходами, включающая блок учета и контроля как подсистему мониторинга и блок прогнозирования рисков, определение последствий и сценариев реагирования.

Мониторинг чрезвычайных ситуаций при обращении с радиоактивными веществами и радиоактивными отходами это система регулярных наблюдений за возможным развитием неблагоприятных и опасных событий, а также факторами, обуславливающими их формирование и развитие, проводимых по определённой программе, выполняемых с целью своевременной разработки и проведения мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций, связанных с этими явлениями и процессами, или наносимого под их воздействием ущерба.

Прогнозированием (прогнозом) называется определение качественных и количественных характеристик ожидаемой обстановки на основе принятых математических моделей

Основным методом обеспечения безопасности населения на современном этапе должен быть метод управления рисками, предполагающий комплексный подход к проблеме, рассматривающий научно-технический, информационный, социальный аспекты. В данной главе в рамках системы прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций обосновывается выбор научно-технической и информационной составляющих метода управления рисками как определяющих при создании современной системы мониторинга радиоактивных веществ и радиоактивных отходов.

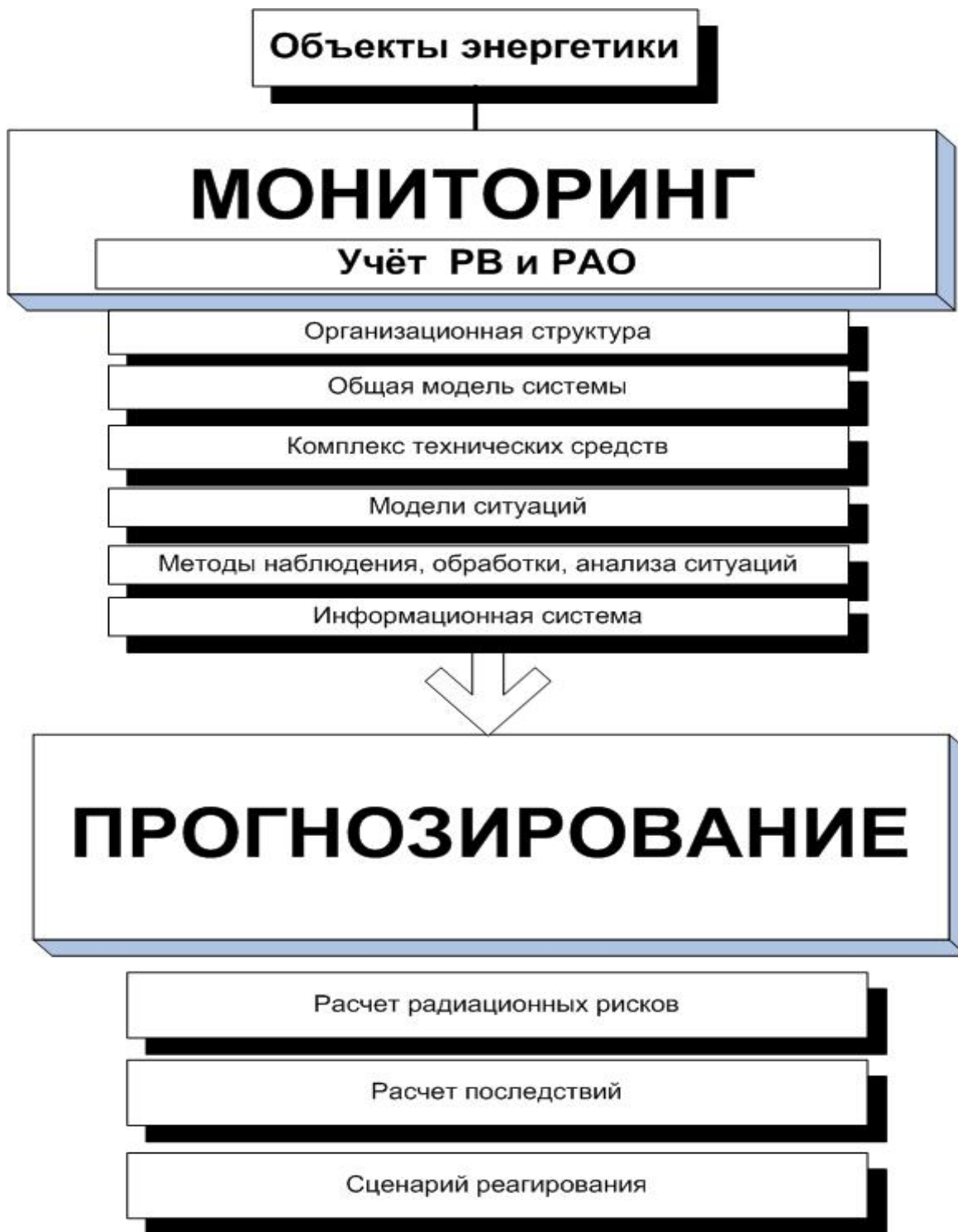


Рисунок 1. Общая схема системы прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций при обращении с радиоактивными веществами и отходами

Учет и контроль радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в системе прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций позволяет не только избежать несанкционированного использования радиоактивных веществ, но и прогнозировать радиационную обстановку на объектах энергетики при возникновении аварийных ситуаций. Приведены примеры оценочных расчетов возможного ущерба от несанкционированного использования радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. Показано, что возможный ущерб от несанк-



ционированного использования одного только источника (радиоактивное вещество) в местах постоянного пребывания людей составит около 3,5 млн. рублей.

Автором показано, что в системе прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций обеспечение точного и оперативного учета радиоактивных веществ и радиоактивных отходов на объектах энергетики возможно только путем создания компьютерной системы учета. Современная компьютерная система учета должна опираться на сеть информационно-аналитических центров территориального значения, во главе которых стоит Федеральный Информационно-аналитический центр Госкорпорации Росатом (ФИАЦ).

Общая схема, описывающая реализацию опасностей на объектах энергетики, приведена на рисунке 2.

При обеспечении безопасности объектов энергетики необходимо рассматривать следующие их свойства.

Надежность (безотказность) — свойство сохранения работоспособности при случайных отказах отдельных или групп элементов и их восстановления на определенном времени функционирования в нормальных (заданных) условиях эксплуатации.

Стойкость (условная живучесть) — свойство сохранения работоспособности при случайных поражениях её элементов вследствие воздействия достоверно возникающих поражающих факторов (ПФ), таких как удары, взрывы, пожары и пр.

Живучесть (полная безусловная живучесть) — свойство сохранения работоспособности системы при случайных поражениях её элементов вследствие случайного (недостоверного) воздействия ПФ (удар, взрыв, пожар и т.п.). При этом надежность является абсолютной.

Устойчивость — комплексное свойство сохранения работоспособности, определяемое различными совместными комбинациями свойств её структурной надежности, стойкости и живучести.

Безопасность — это свойство противостоять появлению аварийной ситуации при функционировании технической системы (свойство системы функционировать, не переходя в опасное состояние).

Исходя из общей схемы, описывающей реализацию источников опасности на объектах энергетики все методы обеспечения безопасности можно разделить на следующие группы:

- методы уменьшения опасности источников негативного воздействия;
- методы, направленные на снижение угроз;
- методы, направленные на уменьшение уязвимости объектов воздействия (населения, окружающей среды);
- методы, направленные на уменьшения риска.

Метод уменьшения опасности источников негативного воздействия заключается в разработке мероприятий по предотвращению возникновения аварий и возможных аварийных ситуаций (апробированная инженерно-техническая практика, обеспечение качества работ по созданию объектов энергетики).

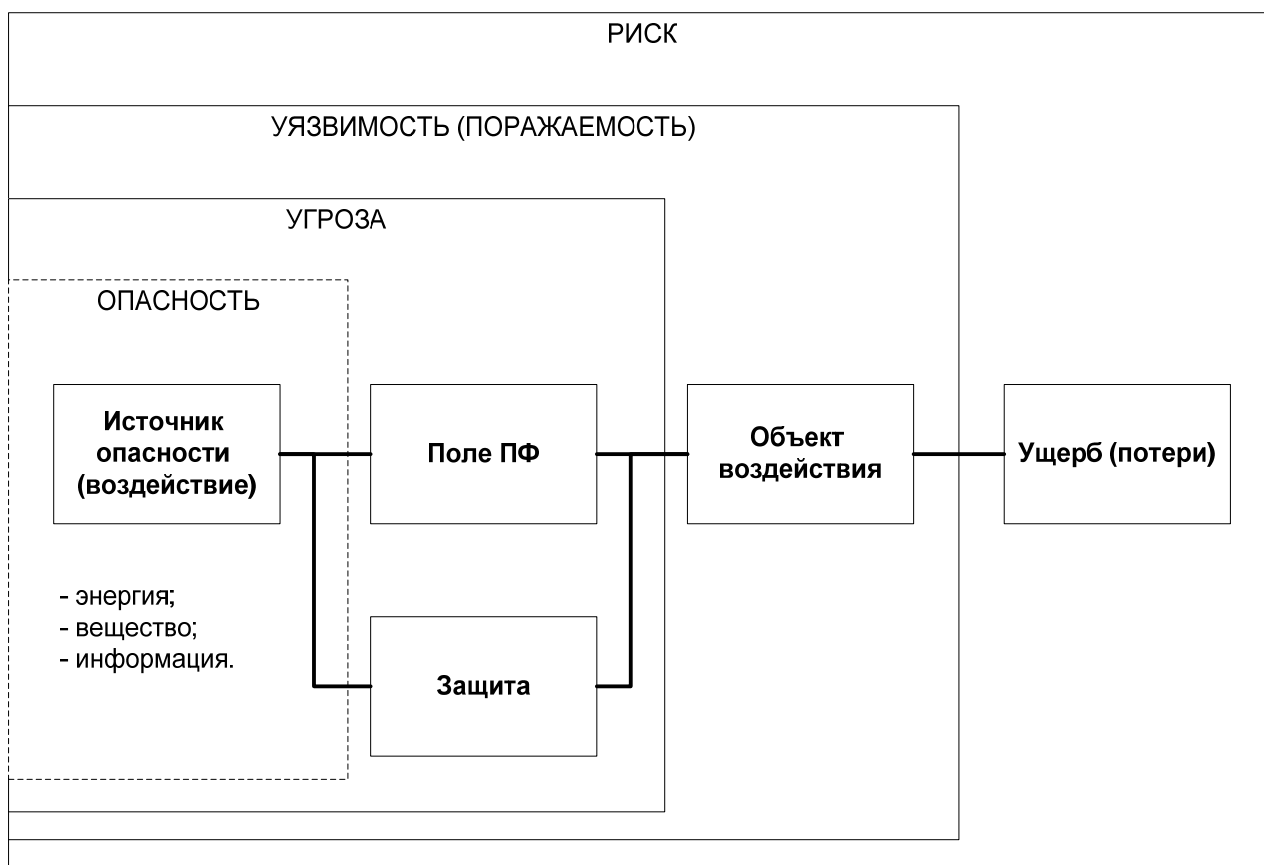


Рисунок 2 Схема, описывающая реализацию источников опасности на объектах энергетики.

Снижение угроз заключается в использовании систем безопасности, обеспечивающих переход системы (объекта в безопасное состояние) при возникновении аварийных ситуаций.

Основной задачей уменьшения уязвимости объектов воздействия заключается в исследовании и разработке мероприятий по снижению негативного воздействия источников опасности на население и окружающую среду.

Снижение риска достигается в первую очередь за счет снижения (ослабления) возможных последствий при авариях на объектах энергетики.

Реализация указанных методов может осуществляться при проектировании, изготовлении и в процессе эксплуатации объектов энергетики.

Рассмотрены особенности применения контрольно-измерительной аппаратуры в системах учета радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. Показана необходимость развития базы средств измерения в сторону повышения автоматизации измерений, компьютеризации обработки данных и контроля качества измерений.

Существующая система технических и организационных мер защиты объектов ядерной энергетики должна содержать пять уровней глубоко эшелонированной защиты и включает следующие уровни, которые отображены в виде схемы на рисунке 3.



Рисунок 3 Уровни защиты объектов энергетики



Рисунок 4 Схема компонент второго уровня защиты

Место системы учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов определяется вторым уровнем защиты. На Рисунок 4 показана схема составляющих этого уровня защиты.

**Вторая глава** посвящена разработке автоматизированной системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций при обращении с радиоак-

тивными веществами и отходами объектов ядерной энергетики в Единой государственной системе прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

Автоматизированная система имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционной бумажной: высокая производительность; достоверность данных (контроль ввода данных системой); сохранность информации; удобство пользования. Автором предложена модель автоматизированной системы мониторинга при обращении с радиоактивными веществами и отходами, которая включает организационную структуру, общую модель системы, комплекс технических средств, методы наблюдения и обработки данных, анализа ситуаций и прогнозирования, информационную подсистему.

В работе особое внимание уделено информационной подсистеме мониторинга радиоактивных веществ и отходов.

Контроль ввода данных системой снимает требование высокой квалификации к младшему обслуживающему персоналу (операторы и т.д.).

Разработка такой системы начинается с создания правовой базы, включающей ведомственные нормативные документы, обязательные для предприятий отрасли, такие, как «Положение о функционировании информационно-аналитического центра», «типовое положение по учету и контролю радиоактивных веществ и радиоактивных отходов», «типовое положение по учету и контролю ядерных материалов», «инструкция по учету отработавшего ядерного топлива». В этих положениях оговаривается регламент представления информации от предприятий в вышестоящие инстанции, формы представления отчетности и сроки. Следует отметить, что для ядерных материалов военного назначения до сих пор отсутствуют правовые нормы и формы отчетности. В рамках данного исследования впервые разработаны ведомственные документы для учета и контроля подобных объектов.

На основе изучения информационных потоков разработана информационная база, включающая в себя комплекс взаимодействующих компьютерных банков данных. Автором выявлены взаимосвязь и различие информации из разных форм отчетности.

Исходя из форм государственного статистического наблюдения, были разработаны состав и структура базы данных. В состав базы данных входит 26 таблиц. 12 таблиц содержат данные отчетных форм (основные таблицы):

1. Сведения об организациях.
2. Наличие открытых РНИ.
3. Наличие закрытых РНИ.
4. Образование РАО.
5. Переработка РАО на установках.
6. Размещение РАО и их наличие.
7. Радионуклиды в атмосфере.
8. Радионуклиды в сточных водах.
9. Уровень радиоактивности подземных вод.
10. Территории загрязненные РН.
11. Мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду.

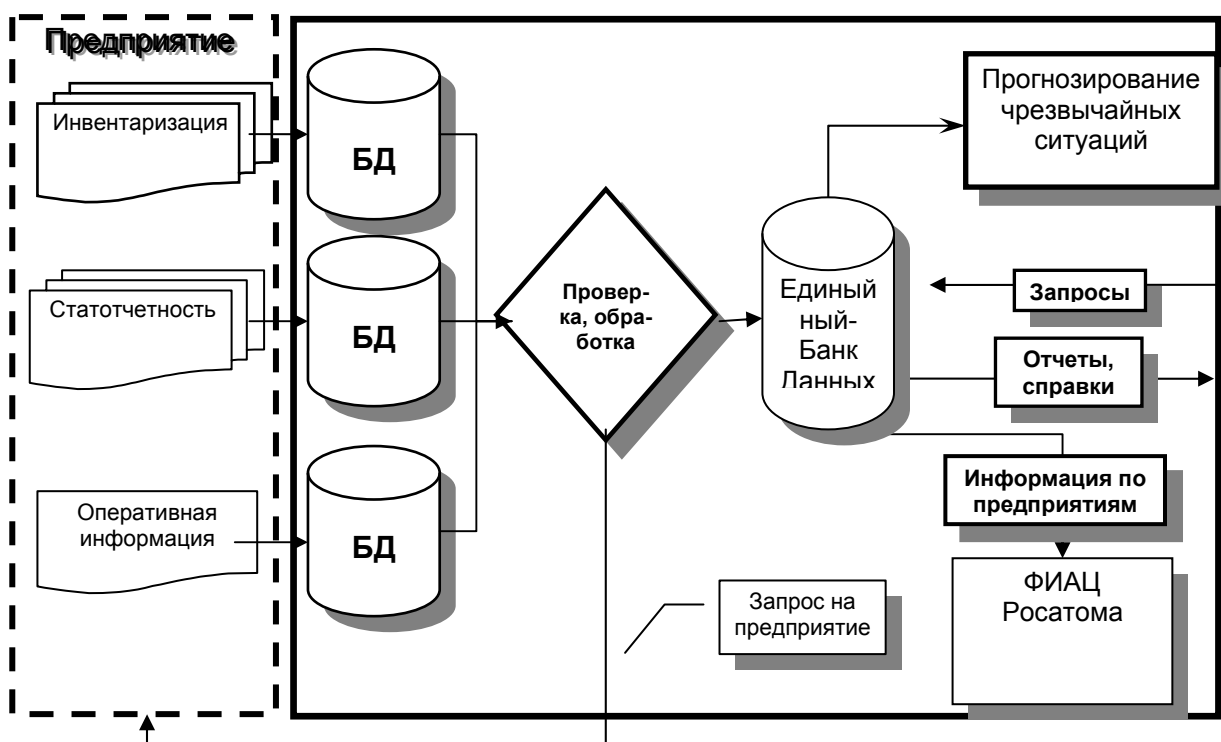


Рисунок 5. Структурная схема информационной базы по учёту и контролю радиоактивных веществ и отходов

Остальные 14 таблиц – таблицы вспомогательных справочников. Справочные таблицы используются как для внутренних расчетов, так и для подстановки значений при вводе данных.

По всем единицам хранения ведется учет их массогабаритных характеристик в абсолютных величинах, активность и радионуклидный состав учитываются по правилам Государственной системы учёта и контроля с использованием кодировочных таблиц в рамках Единой государственной системы предупреждения чрезвычайных ситуаций (РСЧС).

Разработка программного комплекса поддержки автоматизированной информационной системы включает в себя разработку структуры хранения данных на базе системы управления реляционными базами данных, интерфейса пользователя в виде набора экранных форм, блока выдачи справок по запросу пользователя.

На рисунке 6 представлена реляционная схема базы данных приложения «Статотчётность».

Разработанная автоматизированная система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций при обращении с радиоактивными веществами и отходами состоит из двух подсистем "Предприятие" и "ВИАЦ". Подсистема "Предприятие" предназначена для первичного учета объектов на предприятии, выдачи форм государственной статистической отчетности 2-гп "радиоактивные вещества" и 2-гп "радиоактивность", передачи информации в подсистему "ВИАЦ". Подсистема "ВИАЦ" предназначена для сбора информации с террито-

ально подчиненных предприятий, проверок полученных данных, анализа ситуации с оборотом радиоактивных веществ и отходов, то есть собственно мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

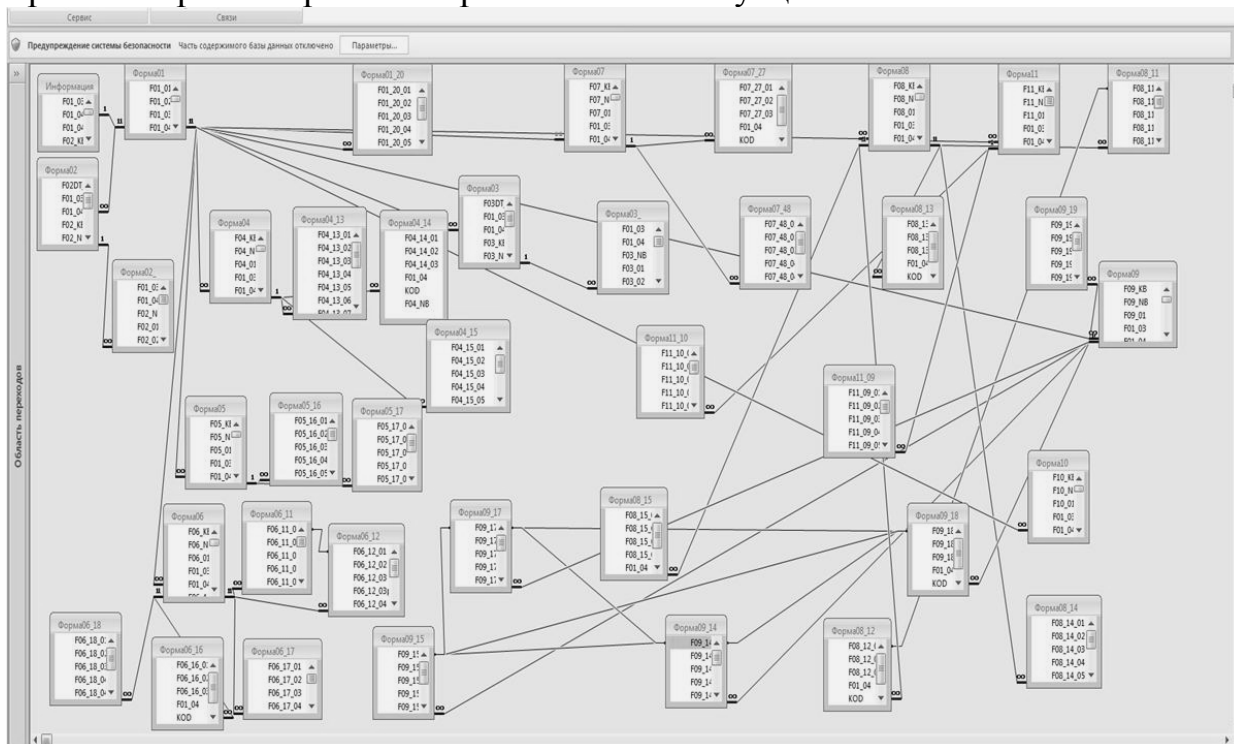


Рисунок 6. Реляционная схема базы данных программного приложения «Статотчетность»

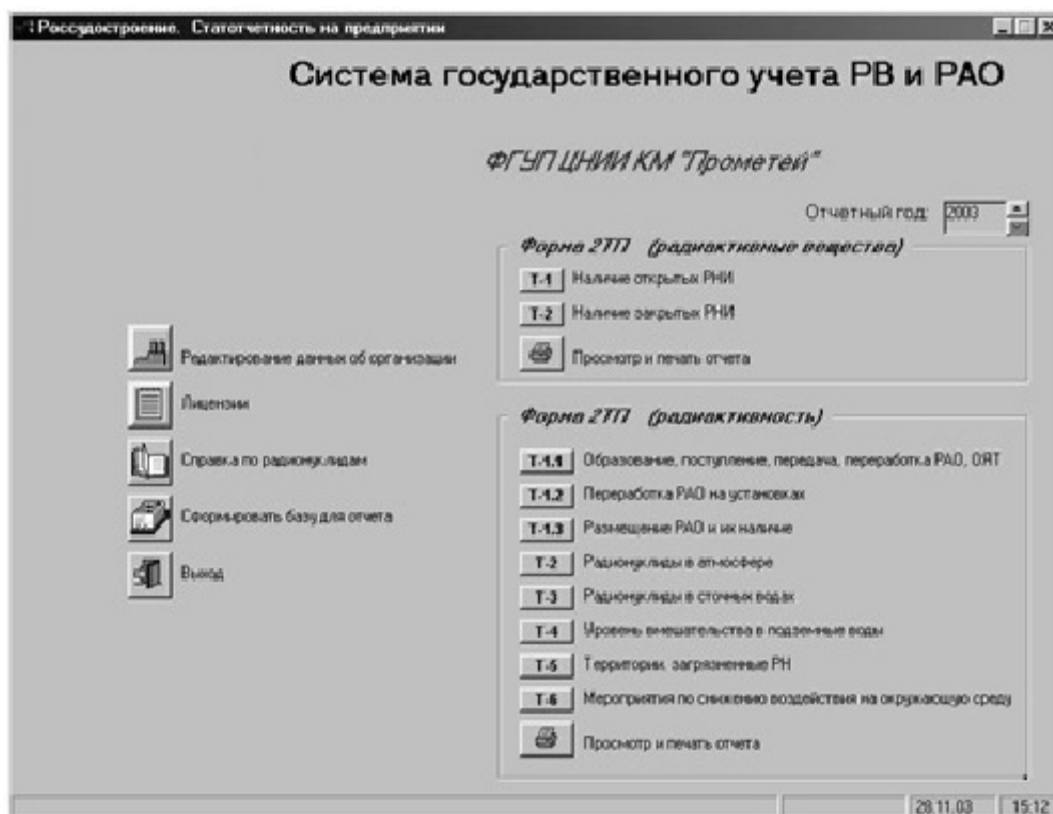


Рисунок 7. Вид главного экрана программного приложения «Статотчетность» для предприятий

бета-излучающие радионуклиды	альфа-излучающие радионуклиды (исключая трансурановые)	трансурановые радионуклиды
менее 1,0E+7	менее 1,0E+6	менее 1,0E+5
от 1,0E+7 до 1,0E+11	от 1,0E+6 до 1,0E+10	от 1,0E+5 до 1,0E+9
более 1,0E+11	более 1,0E+10	более 1,0E+9

Рисунок 8. Окно для ввода кода РАО, ОЯТ

Для обеспечения бумажного документооборота согласно нормативным документам система дополнена программным пакетом "Оперативная отчетность" сторонних разработчиков. На рисунке 7 представлен вид главного экрана программного приложения «Статотчетность» для предприятий. На рисунке 8 представлен вид окна для ввода кода радиоактивных (РАО, ОЯТ).

Автором показана неизбежность использования смешанного электронно-бумажного документооборота на современном этапе и пути перехода на полностью электронный документооборот в рамках Единой государственной системы предупреждения чрезвычайных ситуаций (РСЧС).

**Третья глава** посвящена разработке методики оценки рисков возникновения чрезвычайной ситуации для объектов энергетики при обращении с радиоактивными веществами и отходами. В главе приведены критерии оценки неблагоприятных последствий аварий. Рассмотрены различные виды аварий: проектная, запроектная. Приведены примеры расчета вероятности проектных аварий, радиационного риска.

Понятие опасности является системообразующим понятием предметной области. Опасность существует только в системе, включающей как минимум два элемента: источник и реципиент при совпадении факторов пространства и времени. Если объект-источник, либо зона его опасности затрагивают объект-реципиент или зону его интересов (жизненное пространство), происходит актуализация опасности. По временному характеру воздействия опасность может быть внезапной, периодически или постоянно действующей (рисунок 9).

Для выявления оценки радиационной безопасности используются методы прогнозирования и оценки фактической обстановки.

Прогнозированием (прогнозом определяются качественные и количественные характеристики ожидаемой обстановки на основе принятых математических моделей).

Исходя из вышеизложенного, определяется, что заключение о предстоящем развитии и исходе неблагоприятных и опасных событий производится на основании данных о состоянии, массогабаритных характеристик, активности и ра-

дионуклидного состава, местоположения (координаты, вид хранилища), наличия лицензии на обращение с радиоактивными веществами и радиоактивными отходами

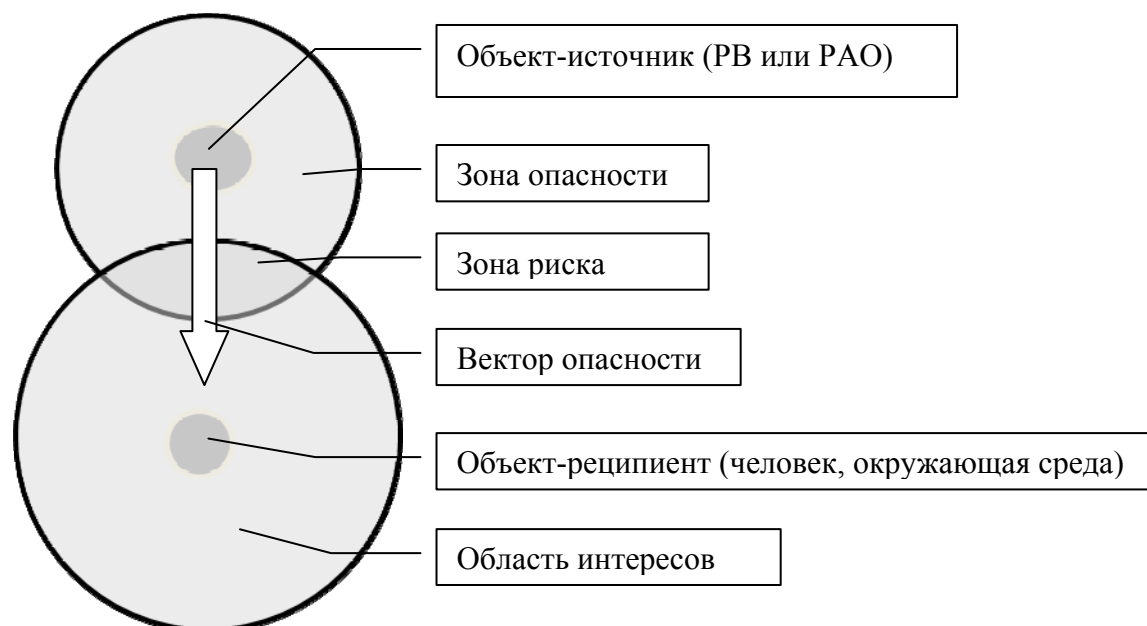


Рисунок 9 Схема возникновения опасности и формирования риска

Прогнозирование чрезвычайных ситуаций находится в глубокой взаимосвязи с мониторингом, поскольку данные мониторинга и другая информация об объектах, явлениях и процессах служат основой для прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их последствий.

В качестве примера рассмотрено несанкционированное использование  $10 \text{ м}^3$  неучтенных жидких радиоактивных отходов. На предприятиях ядерной энергетики в процессе производственной деятельности обычно образуются низко- и среднеактивные жидкие радиоактивные отходы (средняя активность  $A = 10^8 \text{ Бк/м}^3$ , основной радионуклид Cs-137). Радиоактивное заражение территории может составить  $200 - 400 \text{ м}^2$  при разливе или подрыве цистерны с жидкими радиоактивными отходами, то есть минимальный уровень загрязнения составит  $2,5 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^2$ . Только стоимость утилизации отходов (поверхностный слой грунта толщиной 15 см) составляет при цене  $9000 \text{ руб/м}^3$  величину равную 270-540 тыс. рублей + стоимость площадки. Учет стоимости дезактивации и затрат на возможные выплаты населению или персоналу увеличивают расходы по крайней мере в два раза. Все остальные вышеперечисленные факторы, включая последствия радиационного воздействия и психологический эффект на персонал и население, сложно оценить и в данной работе они не рассматриваются.

Предложенная система сбора данных обеспечит руководителей всех уровней полной и достоверной информацией о наличии радиационно-опасных объектов, а система аналитической обработки данных позволит оценить вероятность потенциальной аварии, определить возможный ущерб и заблаговременно принять экономически обоснованные превентивные защитные меры.



Разработка методики оценки рисков возникновения чрезвычайной ситуации основана на современных вероятностных математических моделях с использованием данных от объекта энергетики.

Блок ввода данных с предприятия предполагает полуавтоматический контроль с участием аналитика информационно-аналитического центра. Условия проверки заключаются в совпадении присланных новых отчетных данных с предыдущими с учетом оперативной информации по изменению состояния радиоактивных веществ и радиоактивных отходов за год. Общие схемы алгоритмов определения рисков приведены на рисунках 10 и 11.

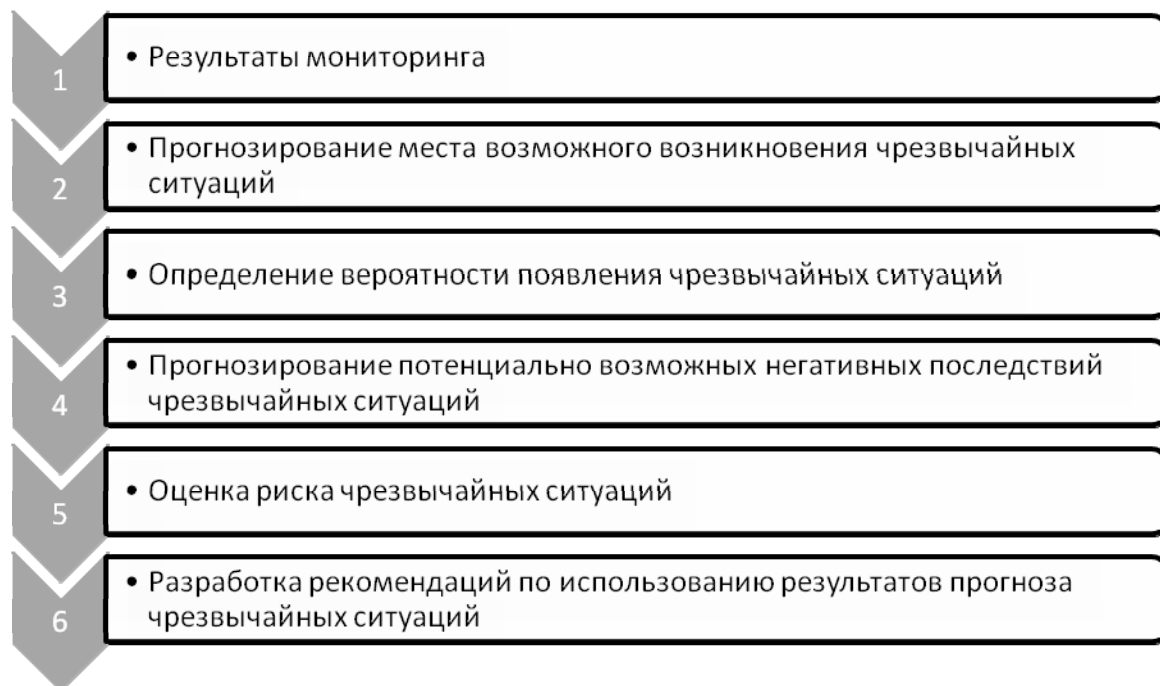


Рисунок 10. Общая схема алгоритма определения рисков

Определение рисков основано на категорировании закрытых радионуклидных источников (открытые источники сейчас почти не применяются в промышленности) и твердых и жидких радиоактивных отходов по их потенциальной опасности. Основными параметрами выступают удельная активность и масса объекта учета. На рисунке 12 приведена блок-схема определения рисков для закрытых радиоактивных источников, поскольку они более подвержены рискам возникновения чрезвычайной ситуации, являясь элементом действующего прибора или устройства. При категорировании источника учитывается также и состав изотопов.

Для радиоактивных отходов категорирование проводится по радиоактивности, так как обычно отходы отправляются в специальные хранилища.

Для расчёта вероятной дозы облучения при воздушном выбросе радиоактивных отходов используется методика, основанная на гауссовой модели распределения вероятности. Тогда мощность дозы облучения определяется следующей формулой:

$$D(x, y, z, t) = 0,0404 \mu_a E_\gamma \int_0^\infty \int_0^\pi \frac{(1 + k\mu r) \exp(-\mu r)}{r^2} \chi(x, y, z, t) \times 2\pi r^2 \sin \varphi d\varphi dr, \quad (1)$$

где

$r^2 = x^2 + y^2 + z^2$  – расстояние от источника излучения до точки наблюдения;

$E_\gamma, \mu_a, k$  – энергетические характеристики источника излучения:

$E_\gamma$  – средняя энергия гамма-излучения, МэВ;

$\mu_a$  – массовый коэффициент ослабления гамма-излучения средней энергии  $E_\gamma$  в среде (для приведенной формулы – в атмосфере), см<sup>2</sup>/г;

$k$  – фактор накопления (кратность превышения характеристик поля нерассеянного и рассеянного гамма-излучения над характеристиками нерассеянного поля гамма-излучения).

$\chi(x, y, z, t)$  – плотность концентрации выброса, (Бк/м<sup>3</sup> или Ки/м<sup>3</sup>).

Выражения для плотности концентрации активности в общем случае имеет вид:

$$\chi(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z \mu} \left[ \exp\left\{-\frac{(h+z)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(h-z)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \times \left[ \exp\left\{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right\} \right] \left[ \exp\left\{-\frac{(x-\bar{u}t)^2}{2\sigma_x^2}\right\} \right] \quad (2)$$

где

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ , – мгновенные средние параметры дисперсии по направлениям  $x, y, z$  соответственно за период 15 – 20 минут излучения;

$Q$  – общая активность источника излучения;

$\bar{u}$  – средняя приведённая скорость ветра;

$h$  – возвышение источника;

$z$  – возвышение точки наблюдения.



Рисунок 11 Типовой сценарий возникновения техногенной чрезвычайной ситуации при повреждении или разрушении радиационно опасного производственного элемента

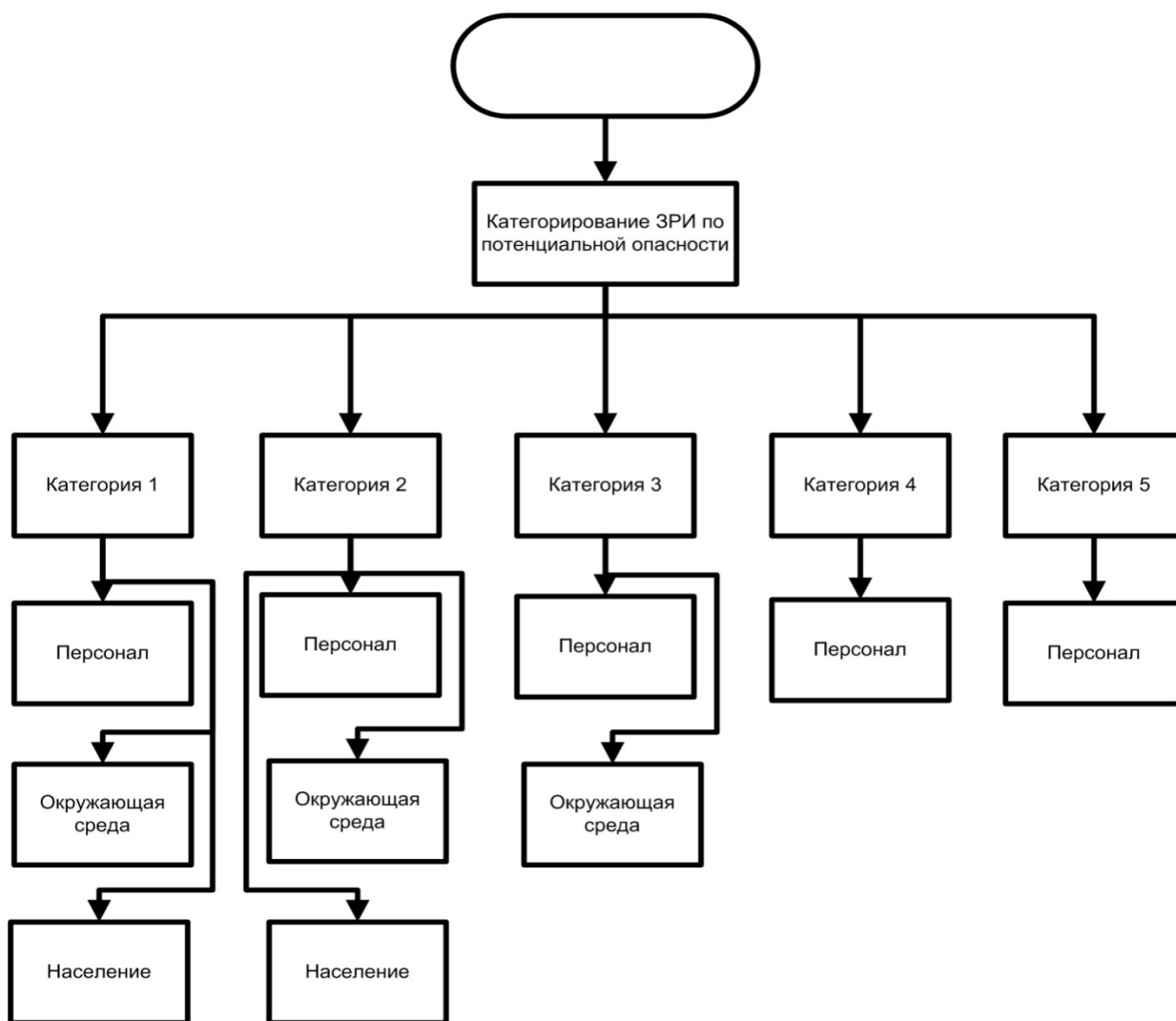


Рисунок 12. Схема алгоритма определения рисков для закрытых радиоактивных источников по их воздействию на различные объекты

Риск аварии – мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на опасном производственном объекте и тяжесть ее последствий. Основным количественным показателем риска аварии является, в том числе, и ожидаемый ущерб – математическое ожидание величины ущерба от возможной аварии, за определенное время.

В общем случае потери в производственной и непроизводственной сфере жизнедеятельности человека и вред окружающей природной среде проявляются не только в результате аварии, но и при штатной эксплуатации радиационно-опасных объектов. Поэтому полный риск  $R$  эксплуатации опасных производственных объектов количественно может быть оценен математическим ожиданием ущерба  $Y$  при функционировании объекта:

$$R=M[Y] \quad (3)$$

Для более подробного раскрытия наиболее значимых составляющих полного риска  $R$  эксплуатации радиационно-опасных объектов и установления меры опасности причинения экологического вреда человеку и природе определим

событие  $B_k$  как причинение  $k$ -го вреда человеку и окружающей природной среде. Тогда формулу (3) можно представить как:

$$R = M[Y] = \sum_{k=1}^n P(B_k) y_k, \quad (4)$$

где  $P(B_k)$  – вероятность события  $B_k$ .

$y_k$  – вред человеку (природе).

Событие причинения  $k$ -го вреда человеку и окружающей природной среде при аварии на радиационно-опасном объекте определяется как:

$$B_k = A \cap C_k, \quad (5)$$

где событие  $A$  – авария на объекте; событие  $C_k$  – реализация аварии по  $k$ -му сценарию.

Так как события  $A$  и  $C_k$  являются совместными, то искомая вероятность события, связанного с причинением  $k$ -го вреда  $y_k$  человеку и окружающей природной среде при аварии на радиационно-опасном объекте определяется как:

$$P(B_k) = P(A \cap C_k) = P(A)P(C_k | A), \quad (6)$$

Подставив выражение (6) в формулу (4), получим для риска аварии  $R_a$ :

$$R_a = \sum_{k=1}^n P(A)P(C_k|A)y_k = [P(A)] * \left[ \sum_{k=1}^n P(C_k|A)y_k \right] \quad (7)$$

Первый член произведения в выражении (7) описывает причинные составляющие риска аварий  $R_a$ , а второй член – ожидаемые последствия аварии.

Оценка причинных составляющих в риске аварии проводилась с использованием статистических данных по аварийности, методов анализа «дерева отказа» и имитационного моделирования происшествия.

Анализ данных показал, что, согласно данным вероятности радиационных аварий, связанные с тяжелым повреждением транспортного средства, дают следующие величины (вероятности берутся из анализа статистики и литературных данных):

$P_{ж/д}(A) \sim 1,8 * 10^{-8} (\text{год} * \text{км})^{-1}$  – тяжелая железнодорожная авария с разрушением спецвагона;

$P_{ст}(A) \sim 5 * 10^{-5} (\text{год})^{-1}$  – авария, связанная со столкновением судна с другим;

$P_{мель}(A) \sim 3 * 10^{-4} (\text{год})^{-1}$  – посадка судна на мель.

Математическое ожидание количества аварий за определенный период времени и определенную протяженность маршрута может быть рассчитано как произведение указанной вероятности, периода времени и протяженности маршрута. Расчеты показывают следующее:

$P_{ж/д} = 2 * 10^{-6}$  (транспортирование из Мурманска на ПО «Маяк» по железной дороге);

$P_{ст} = 2,1 * 10^{-6}$  (столкновение судов при транспортировании по воде)

$P_{мель} = 1,2 * 10^{-5}$  (посадка судна на мель при транспортировании по воде)

При тяжелой железнодорожной аварии происходит падение транспортного контейнера, при этом упаковка не разгерметизируется, разгерметизируются лишь оболочки тепловыделяющих элементов, находящихся в контейнере, в ре-

зультате чего возможен выход газообразных продуктов деления, в частности –  $^{85}\text{Kr}$  – до  $0,925 \cdot 10^{10}$  Бк в неделю. При этом мощность эквивалентной дозы может составить  $7,0 \cdot 10^{-3}$  мЗв/ч, полная доза за год 10 мЗв. Согласно шкале INES подобное событие может относиться ко 2-му или 3-му уровню.

**В заключении** кратко сформулированы **основные результаты диссертационной работы**, которые сводятся к следующему:

1. В работе доказано, что учет и контроль ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в рамках Единой государственной системы предупреждения чрезвычайных ситуаций (РСЧС) является неотъемлемой составной частью проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях, и должен рассматриваться как совокупность организационно-технических мероприятий при информационном обеспечении современными компьютерными технологиями.
2. Впервые проведено комплексное системное исследование в рамках прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций при обращении с радиоактивными веществами и отходами нормативно-правовой базы, включая ведомственные нормы и правила, действующие на предприятиях Росатома. Установлена ее недостаточность и внутренняя противоречивость, определена необходимость изменения структуры и содержания ведомственных нормативных документов.
3. Автором предложена современная автоматизированная система прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций при обращении с радиоактивными веществами и отходами. Эта система состоит из масштабируемого комплекса программ, включающего серверную и клиентскую части. Клиентские части, устанавливаемые на предприятиях, оснащены необходимыми системами контроля вводимой информации. Серверные части программного обеспечения предназначены для информационно-аналитических центров и оснащены средствами контроля движения информации и проведения оценочных расчетов радиационных рисков. Данная система внедряется в настоящее время на промышленных предприятиях.
4. Автором предложена методика оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций для объектов энергетики при обращении с радиоактивными веществами и отходами.

Полученные в диссертационной работе результаты отвечают требованиям новизны, теоретической и практической значимости. Их обоснованность и достоверность подтверждена практической реализацией на российских объектах энергетики.

**Основные материалы данной диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Храмов А.В. Проблемы учета отработанного ядерного топлива (ОЯТ) транспортных установок / В.И. Гуменюк, А.В. Храмов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2010. № 4 (110).- С. 241-245.

2. Храмов А.В. Критерии оценки неблагоприятных последствий радиационных аварий / А.А. Сыров, А.В. Храмов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2010. № 4 (110).- С. 246-249.

3. Храмов А.В. Требования к системам измерения характеристик радиоактивных веществ и радиоактивных отходов / С.Н. Брыкин, В.И. Тарханов, В.В. Петухов, А.В. Храмов // Научное приборостроение. 2008. Том 20. № 1.- С. 72-75.

4. Храмов А.В. Проблемы обеспечения информационной безопасности в учете радиоактивных веществ и радиоактивных отходов на предприятиях российской промышленности / А.В. Храмов // Материалы конференции «Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2005)», Санкт-Петербург, 2005.- С. 161-162.

5. Храмов А.В. Разработка программного обеспечения для ведомственного центра по учету и контролю радиоактивных веществ и радиоактивных отходов / А.В. Храмов, В.В. Петухов // Труды конференции «Региональная информатика – 2004 (РИ-2004)», Санкт-Петербург, 2004.- С. 348-352.

6. Храмов А.В. Организация системы государственного учета радиоактивных веществ и отходов на ведомственном и региональном уровнях / В.В. Петухов, А.В. Храмов // Управленческое консультирование. 2005. № 3.- С. 96-105.

7. Храмов А.В. Роль ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» в создании ведомственной системы учета и контроля ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов / Г.Д. Никишин, В.В. Петухов., А.В. Храмов // Международная научно-техническая конференция «Экологические проблемы утилизации атомных подводных лодок», Владивосток, 19–25 сентября 2002 г. Тезисы докладов.- С. 130-132

8. Храмов А.В. Ведомственная система учета и контроля РВ и РАО на предприятиях судостроительной промышленности / В.В. Петухов, А.В. Храмов // Всероссийский семинар-совещание «Система государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов», Санкт-Петербург, 5-8 июля 2004 г.: Труды.- С. 71-72

9. Храмов А.В. Проблемы использования измерительной аппаратуры в учете ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов / В.И. Тарханов, В.В. Петухов, А.В. Храмов // Научное приборостроение. 2007. Том 17. № 2.- С. 67-71.

10. Храмов А.В. Оценка риска при транспортировании отработавшего ядерного топлива / А.В. Храмов // Сборник научных трудов научно-практической конференции «Безопасность в чрезвычайных ситуациях». СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.- С. 336–341.

11. Храмов А.В. Механизм влияния естественных и техногенных электромагнитных полей на безопасность жизнедеятельности / М.Н. Тихонов, А.В. Храмов, А.Ю. Туманов // Сборник научных трудов научно-практической конференции «Безопасность в чрезвычайных ситуациях». СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.- С. 165-186.

12. Храмов А.В., Социальная безопасность малых доз ионизирующих излучений, / М.Н. Тихонов, В.И. Гуменюк, Н.С. Хлобыстин, А.В. Храмов // Сборник научных трудов научно-практической конференции «Безопасность в чрезвычайных ситуациях». СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.- С. 186-193.

13. Храмов А.В. Принципы функционирования программного комплекса ведомственного информационно-аналитического центра учёта радиоактивных веществ и радиоактивных отходов / М.Ю. Базлов, В.В. Петухов, А.В. Храмов // «Прометей». Итоги года 2002-2003, [http://www.crismprometey.ru/Rus/editions/PDF/PDF\\_year\\_results\\_2003/nio\\_14.pdf](http://www.crismprometey.ru/Rus/editions/PDF/PDF_year_results_2003/nio_14.pdf)

14. Храмов А.В. Банк данных первичной инвентаризации радиоактивных веществ и радиоактивных отходов на предприятиях Российского агентства по судостроению / А.В. Храмов, В.В. Петухов // «Прометей». Итоги года 2002-2003, [http://www.crismprometey.ru/Rus/editions/PDF/PDF\\_year\\_results\\_2003/nio\\_14.pdf](http://www.crismprometey.ru/Rus/editions/PDF/PDF_year_results_2003/nio_14.pdf)