

**Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого
Высшая школа техносферной безопасности**

На правах рукописи

Толочко Иван Александрович

«Разработка системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций техногенного характера на объектах атомной энергетики»

Направление подготовки 20.06.01 Техносферная безопасность

Код и наименование

20.06.01_02 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях»

Код и наименование

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)

Автор работы: Толочко И.А.
Научный руководитель: профессор,
д.т.н., Гуменюк В.И.

Санкт Петербург – 2018

Научно-квалификационная работа выполнена в Высшей школе техносферной безопасности федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Директор ВШТБ:

– *Андреев Андрей Викторович,*
кандидат военных наук, доцент.

Научный руководитель:

– *Гуменюк Василий Иванович,*
доктор технических наук, профессор

Рецензент:

– *Сыров Александр Александрович,*
кандидат технических наук,
начальник лаборатории АО «Диаконт»

С научным докладом можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» и на сайте Электронной библиотеки СПбПУ по адресу: <http://elib.spbstu.ru>

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Объекты атомной энергетики могут быть одной из первоочередных целей поражающего воздействия вероятного противника. Учитывая тот факт, что значительная часть объектов атомной энергетики Российской Федерации расположены вблизи крупных городов и промышленных центров, то результатом такого воздействия будут массовые поражения людей и выведение из хозяйственного использования значительных территорий/акваторий.

Этим обусловлена актуальность задачи по повышению защищенности указанных объектов от внешнего поражающего воздействия, а соответственно и актуальность работы.

Цель и задачи исследования

Цель работы: Разработка методики построения математической модели защищенности объекта атомной энергетики, пригодной для простой привязки к условиям функционирования любого реального объекта данной отрасли и интеграция модели в объектовую систему мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

Задачи работы:

- разработка общей структуры математической модели защищенности объекта атомной энергетики и задач по ее привязке к конкретным условиям функционирования реального объекта;
- разработка субмоделей защищенности технических систем объекта атомной энергетики;
- разработка схемы определения достаточности мероприятий по повышению защищенности объекта атомной энергетики и его систем;
- разработка архитектуры объектовой системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций на объектах атомной энергетики с использованием комплекса моделей защищенности.

Научная новизна

Научная новизна состоит в применении методов математического моделирования к построению комплекса иерархически ранжированных моделей защищенности систем объекта атомной энергетики и полей поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, актуальных для него.

Теоретическая и практическая значимость

Комплекс разработанных математических моделей может быть применен для оценки защищенности объекта атомной энергетики от поражающих факторов различного происхождения и интегрирован в

объектовую систему мониторинга и прогнозирования чрезвычайных на защищаемом объекте.

Апробация работы

В ходе следующих конференций:

1. Международная научно-техническая конференция "Лес-2013". Июнь 2013 года, г. Брянск.
2. Форум с международным участием «Неделя науки -2015». Ноябрь 2015 года, г. СПб.
3. Всероссийская научно-практическая конференция «Безопасность в чрезвычайных ситуациях 2015». Апрель 2015 года. г. СПб.
4. Форум с международным участием «Неделя науки -2016». Ноябрь 2016 года, г. СПб.
5. Всероссийская научно-практическая конференция «Безопасность в чрезвычайных ситуациях 2016». Апрель 2016 года. г. СПб.
6. Форум с международным участием «Неделя науки -2017». Ноябрь 2017 года, г. СПб.
7. Всероссийская научно-практическая конференция «Безопасность в чрезвычайных ситуациях 2017». Апрель 2017 года. г. СПб.

Представление научного доклада: основные положения

Свойство защищенности объекта атомной энергетики (ОАЭ) от деструктивного воздействия поражающих факторов чрезвычайной ситуации (ПФ ЧС), в основном, закладывается на этапе проектирования. Один и тот же ПФ ЧС оказывает различное поражающее воздействие на элементы и системы защищаемого объекта, поэтому для оценки защищенности ОАЭ от ПФ ЧС в целом, наиболее удобным инструментом является математическое моделирование. Для обоснования конкретных мероприятий по повышению защищенности ОАЭ или его отдельных систем, в ходе исследования разработана общая модель защищенности ОАЭ.

Структура модели

Защищаемый объект рассмотрен системно, с учетом иерархичности организации его систем и элементов. Основные составляющие разработанной модели приведены на рисунке 1.

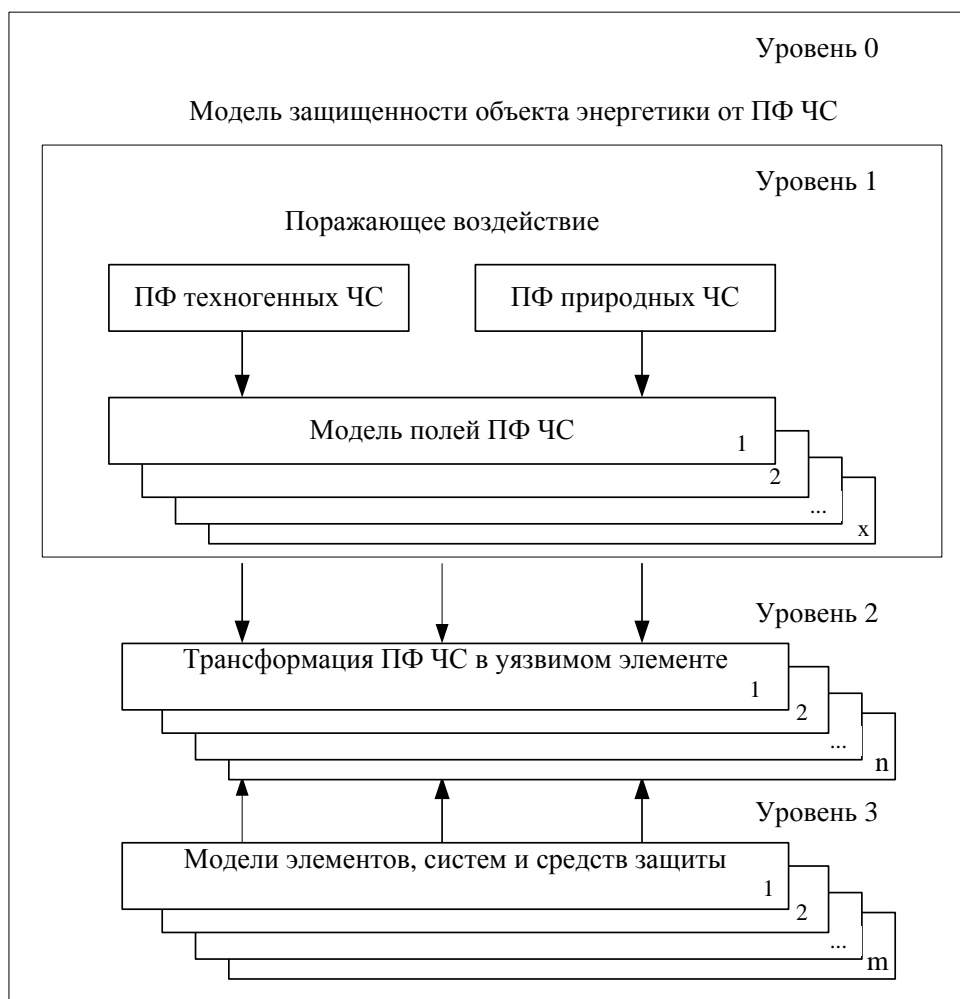


Рисунок 1- Структура общей модели защищенности ОАЭ

Модель состоит из четырех уровней моделирования. Уровень «0» представляет собой общую модель защищенности ОАЭ от ПФ ЧС.

Свойство защищенности ОАЭ от ПФ ЧС может быть рассмотрено применительно к объекту в целом, подсистемам и отдельным элементам, что указывает на логичность применения совокупности иерархически ранжированных субмоделей. Иерархичность построения модели защищаемого объекта ставит вопрос о необходимости разработки методики определения вклада конечных элементов структуры в общий уровень защищенности объекта (уровень моделирования «0»), а также схему определения достаточности уровня защищенности в целом для защищаемого объекта, для его отдельных систем и элементов.

Уровень моделирования «0» агрегирует три нижестоящих уровня.

Уровень моделирования «1» представляет собой совокупность моделей деструктивного воздействия ПФ ЧС на элементы и системы защищаемого объекта. Количество данных моделей $1...x$, где x -натуральное число, характеризующее количество ПФ ЧС, учитываемых при моделировании. Выбор данного числа может быть сделан на основе экспертного мнения, после рассмотрения актуальных для конкретного защищаемого объекта угроз.

В качестве детальной разработки модели уровня «2» в настоящей работе разработана модель поражающего воздействия электромагнитного импульса (ЭМИ) на элементы и системы защищаемого объекта.

Уровень моделирования «2» представляет собой совокупность моделей, описывающих процессы, инициированные ПФ ЧС, протекающие в защищаемых элементах и системах. Данные модели формализовано описывают процесс выхода из строя защищаемой системы (элемента) с течением времени под воздействием ПФ ЧС. Количество моделей зависит от количества рассмотренных моделей на уровне моделирования «1», а так же на уровне моделирования «3». При этом учитывается специфика каждой конкретной защищаемой системы (элемента), их взаимосвязь между собой и особенности ПФ ЧС. Число моделей данного уровня моделирования $1 \dots n$ (n – натуральное число).

Уровень моделирования «3» представляет собой совокупность моделей систем и элементов защищаемого объекта. Число этих моделей $1 \dots m$ (m – натуральное число, зависящее от уровня детализации защищаемого объекта, задается при постановке технического задания на разработку модели). Элементы, рассмотренные на данном уровне моделирования, могут быть подвержены дальнейшей детализации с целью более глубокого изучения протекающих в них процессов и повышения достоверности соответствующей модели на уровне моделирования «2».

Модели защищенности подсистем (уровень 3), системы в целом описывают работу систем ОАЭ как процесс взаимодействия его элементов при функционировании объекта в различных условиях.

Основным содержанием общей модели защищенности является описание взаимосвязей элементов, раскрывающих степень влияния их защищенности на защищенность объекта атомной энергетики в целом; при этом отражаться только те свойства или характеристики элементов и только те их взаимные связи в системе, которые являются существенными с позиций защищенности всего объекта.

Математическая модель защищенности для конкретного ОАЭ *должна* учитывать все существенные факторы, влияющие на ее уровень, поэтому перечень факторов, рассмотренный в данной работе, является открытым. Этот перечень конкретных существенных факторов разрабатывается в процессе оптимизации и привязки разработанной общей модели защищенности к конкретным условиям функционирования реального ОАЭ. К числу таких факторов следует отнести конструктивно-технические и эксплуатационно-технические характеристики систем и элементов.

Конструктивно-технические факторы, определяющие защищенность систем объекта атомной энергетики включают:

структурное построение системы, устанавливающее взаимосвязь элементов и режимы их работы;

конструктивное исполнение элементов, проявляющееся в степени влияния ПФ ЧС на их функционирование, в том числе и с учетом их защищенности.

Эксплуатационно-технические факторы выражаются в основном, в режимах работы элементов и систем защищаемого объекта в условиях деструктивного воздействия ПФ ЧС. Они учитываются при соответствующем определении показателей защищенности элементов.

Общая структурная схема процесса оценки защищенности от ПФ ЧС систем и отдельных элементов ОАЭ, показана на рисунке 2.

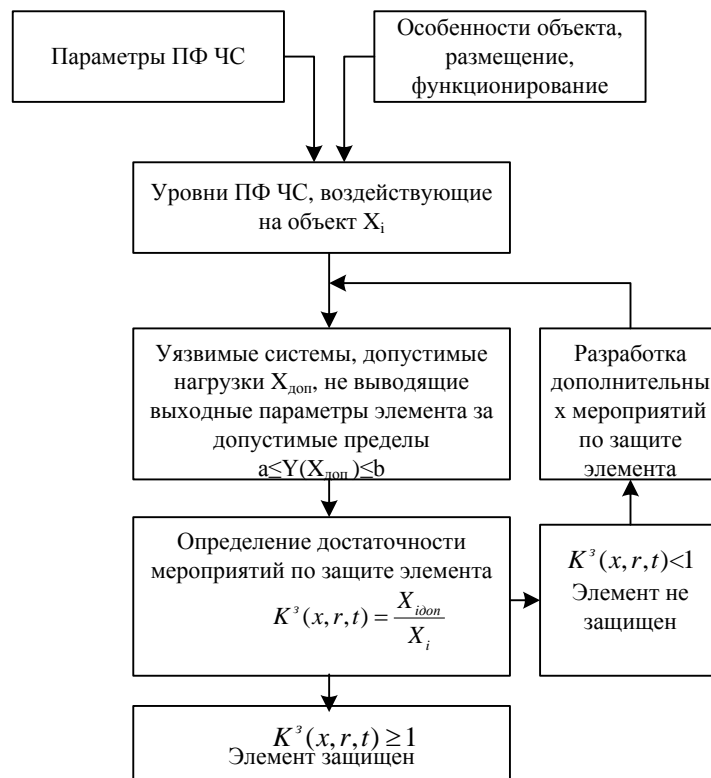


Рисунок 2 – Схема оценки защищенности ОАЭ от ПФ ЧС

Математический аппарат модели

Разработать математическую модель защищенности объекта - значит описать зависимости между защитной способностью, уровнем ПФ ЧС и параметрами состояния элемента. Эти зависимости названы «моделями защищенности» и в общем виде могут быть представлены в следующем виде:

$$\{\Theta_r\} = \{F_r(x_i, v_k, a_j)\}, \quad (1)$$

где $\{\Theta_r\}$ r -й параметр состояния элемента, определяющий способность нормального функционирования; x_i – уровень i -го ПФ ЧС; v_k – характеристика защитной способности; a_j – характеристики, связанные с функциональными или конструктивными особенностями элемента.

Унифицированность выражения (1) основывается на следующих положениях:

защищенность, обеспечиваемая элементом любого уровня иерархии, определяется как функционал защищенности более мелких элементов;

защищенность, обеспечиваемая элементом нижнего уровня, определяется как функционал от трех групп переменных параметров – поражающих воздействий, защитной способности элемента и его функциональных и конструктивных особенностей.

При построении модели, целесообразно использование подхода «нагрузка-стойкость», где в качестве исходных рассматриваются действующие нагрузки, создаваемые ПФ ЧС, и характеристики элементов объекта, подверженного воздействию. Так, для нагрузки, создаваемой мгновенно действующим ПФ ЧС (например, взрыв):

$$X_i^m = f(q, R, k), \quad (2)$$

где X_i^m – параметр i -го ПФ ЧС; q – мощность источника ПФ ЧС; R – расстояние от источника до объекта; k – коэффициент, учитывающий взаимодействие со средой.

Для длительных ПФ ЧС - X_i^d (например, истечение аварийно химически опасных веществ (далее – АХОВ):

$$X_i^d = f[q, C_i(x, y), k, t], \quad (3)$$

где $C_i(x, y)$ – показатель скорости изменения параметра ПФ ЧС во времени в точке с координатами x, y ; а t – продолжительность воздействия.

Наносимый защищаемому объекту ущерб представляется в виде события, являющегося детерминированной функцией расчетной схемы величин X_i^m и X_i^d , и способности объекта противостоять этому воздействию. Объект считается пораженным, если нагрузка превышает его несущую способность (или несущую способность его отдельных систем), и наоборот. В параметрической форме условие поражения записывается следующим образом:

$$X_i^m > X_{i \text{ доп}}^m; X_i^d > X_{i \text{ доп}}^d, \quad (4)$$

где $X_{i \text{ доп}}^m, X_{i \text{ доп}}^d$ – показатели несущей способности объекта при воздействии i -го мгновенного или длительного фактора.

Критерий защищенности систем объекта атомной энергетики, его систем и элементов.

Для определения достаточности свойства защищенности систем объекта атомной энергетики (или его систем и элементов), состава мероприятий по повышению соответствующих характеристик, используется критерий защищенности элемента.

$$a \leq Y(X_i) \leq b, X_i = X_{i \text{ доп}}, \quad (5)$$

где a, b – допуски на выходной параметр объекта.

При этом из ряда значений уровней ПФ ЧС, соответствующих допуску параметров, в качестве показателя стойкости следует выбрать наименьшее граничное значение

$$X_{i\text{доп}} = \min\{X_i^{\text{ep}}\}, \quad Y_i = Y_{i\text{доп}}. \quad (6)$$

Данный подход позволяет оценить результаты воздействия как на составные части объекта (блок, узел, агрегат и т.д.), так и на объект (систему) в целом. Показатели, относящиеся к объекту (системе) в целом, называются общими показателями стойкости, а к составным частям и элементам – частными. Для оценки состояния объекта используется принцип «критического элемента», в соответствии с которым стойкость совокупности элементов не может быть ниже уровня стойкости наименее стойких элементов [15], т.е.

$$X_{i\text{доп}} \geq \min\{X_{ij\text{доп}}\}, \quad (7)$$

где $X_{ij\text{доп}}$ – показатель стойкости j -го элемента по i -му ПФ ЧС.

Таким образом, примененный подход состоит из двух основных этапов.

На первом вычисляются параметры ПФ ЧС (X_i) и предельные значения действующих нагрузок ($X_{i\text{доп}}$). Второй этап состоит в сопоставлении результатов воздействия с допустимыми значениями выходных характеристик объекта или допустимыми значениями параметров ПФ ЧС. На этом этапе выбирается и обосновывается требуемый уровень защищенности.

Защищенность объекта характеризуется количественно при помощи показателей защищенности, которые описывают ослабление внешних воздействий на объекты

$$X_i' = X_i / K^3, \quad (8)$$

или – повышение его стойкости

$$X_{i\text{доп}}' = X_{i\text{доп}} K^3, \quad (9)$$

где X_i' , $X_{i\text{доп}}'$ – значения действующей нагрузки и ее допустимого значения с учетом защитных мер.

Условие сохранения можно записать в виде

$$K_X^3 = \frac{X_{i\text{доп}}}{X_i} \geq 1, \quad K_R^3 = \frac{R_i}{R_{in}} \geq 1, \quad K_\tau^3 = \frac{\tau_{\text{доп}}}{\tau} \geq 1, \quad (10)$$

где K_X^3 , K_R^3 , K_τ^3 – коэффициенты (показатели) защищенности по параметру, расстоянию, времени соответственно.

Если условия (10) выполняются, то сохранение объекта при воздействии обеспечивается. В противном случае необходимы дополнительные усилия по повышению защищенности. При этом требуемое значение показателя защищенности будет равно (по параметру, например)

$$(K_X^3)_{\text{треб}} = \frac{1}{K_X^3}, \quad K_X^3 \leq 1, \quad (11)$$

и

$$X_{\text{дон}}(K_x^3)_{\text{треб}} \geq X, \quad (12)$$

где $(K_x^3)_{\text{треб}}$ – требуемое значение показателя защищенности.

Модель защищенности объекта атомной энергетики от поражающего воздействия электромагнитного импульса

В качестве модели уровня моделирования «2» в исследовании разработана математическая модель защищенности объекта атомной энергетики от электромагнитного излучения (ЭМИ), универсальный подход к моделированию электромагнитной защищенности объекта атомной энергетики и пути оптимизации данной модели для конкретных условий применения. При этом, поражаемыми системами являются: система управления, обеспечения, линии связи и др. Объекты атомной энергетики представляют собой сложные комплексы, оснащенные разнообразной электронной аппаратурой, средствами вычислительной техники, разветвленными линиями управления, связи, электроснабжения; потеря контроля над таким объектом способна инициировать масштабную ЧС.

Поражающий эффект ЭМИ определяется наличием в составе поражаемой системы элементов, критичных к электрическим перегрузкам. Поэтому, при оценке воздействия ЭМИ на поражаемую систему объекта энергетики, произведена ее декомпозиция на отдельные чувствительные функциональные узлы (ЧФУ). Такой подход позволяет свести задачу оценки воздействия ЭМИ на конкретную техническую систему объекта атомной энергетики к решению ряда сравнительно простых задач оценки данного воздействия на ЧФУ.

Для защиты ЧФУ от электрических перегрузок, в его состав могут быть введены специальные схемотехнические средства защиты (рисунок 3), где чувствительные элементы; 2- средства защиты; 3-рецептор энергии ЭМИ.

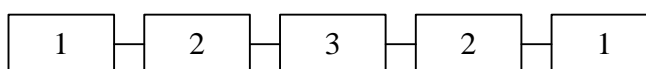


Рисунок 3- Структурная схема ЧФУ

Средства защиты должны быть учтены при расчете токов и напряжений, возбуждаемых в элементе, который является рецептором энергии ЭМИ. При этом необходимо учитывать тот факт, что средства защиты могут иметь нелинейные характеристики, поэтому воздействие ЭМИ может производить нелинейные эффекты, которые учитываются при моделировании.

Таким образом, задача оценки защищенности всего ОАЭ от ЭМИ сводится к задаче получения количественных параметров ЭМИ в ЧФУ различных типов, характерных для конкретного объекта энергетики.

Блочно-иерархический подход обуславливает удобство представления всего перечня способов и элементов защиты в виде модели с иерархией элементов защиты (рисунок 4).

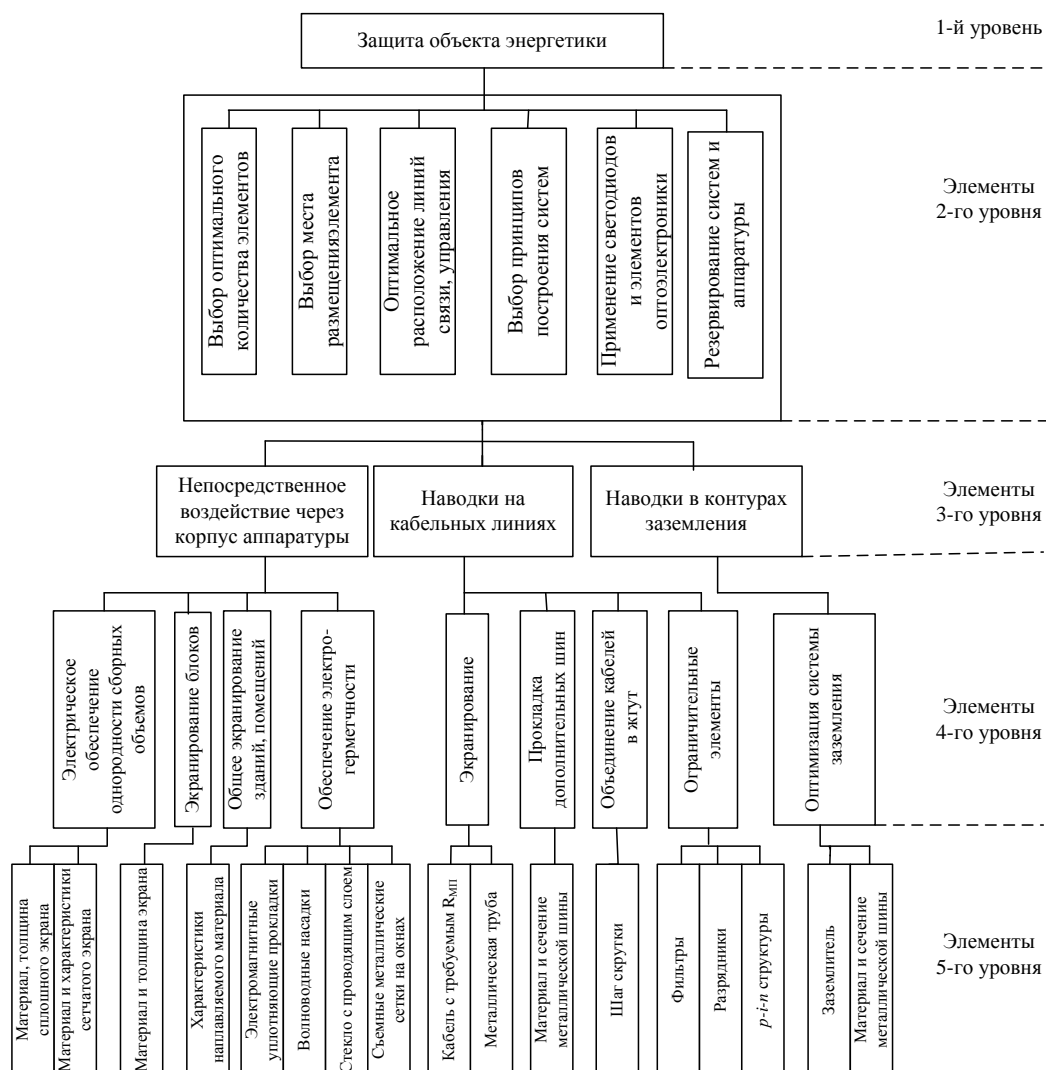


Рисунок 4 - Модель электромагнитной защищенности ОАЭ

Элементы одного уровня защиты входят в один ярус ветвей. На первом уровне размещается вершина, соответствующая защищаемому объекту – ОАЭ. Второй ярус ветвей отображает множество организационных и структурно-функциональных способов защиты аппаратуры, имеющих целью уменьшить значения воздействующих полей, а также принципиальную возможность вывода из строя систем ОАЭ. Третий ярус ветвей дерева описывает основные пути трансформации полей воздействующих поражающих факторов в цепях технических систем защищаемого объекта. Элементы четвертого уровня представляют собой множество способов снижения наводимых токов и напряжений в цепях систем защищаемого объекта; концевые элементы модели представляют конкретные технические решения для реализации различных способов защиты цепей аппаратуры от электрических перегрузок (кабели, полупроводниковые приборы, экраны и т.п.)

При таком описании защиты систем ОАЭ, конкретные решения по повышению защищенности системы (или ее элемента) представляет собой подграф рассматриваемого полного графа и ему соответствует определенный

вариант защиты. Выбор решения производится исходя из заданных ограничений, например, по стоимости, эффективности, времени реализации.

Предложенное представление защиты в виде графа помимо наглядности и быстроты выбора наиболее приемлемых для конкретных систем методов защиты, может быть легко дополнено, (а не изменено в корне) с появлением новых данных о поражающих воздействиях и способах защиты, то есть добавлением новых ветвей на всех иерархических уровнях.

Модель воздействия ЭМИ на кабели систем управления и связи ОАЭ

Рассмотрим общий подход к моделированию поражающего воздействия ЭМИ на рецепторы, представленных в виде экранированных кабелей линий управления объекта энергетики. Для решения данной задачи производится решение системы неоднородных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} -dU(x, \omega) = J(x, \omega) \cdot Z(x, \omega) - \varepsilon(x, \omega) \\ -\frac{dJ(x, \omega)}{dx} = U(x, \omega) \cdot Y(x, \omega) \end{cases} \quad (13)$$

где $U(x, \omega)$, $J(x, \omega)$ – напряжение и ток вдоль линии; $Z(x, \omega)$ – продольное погонное сопротивление линии; $Y(x, \omega)$ – поперечная погонная проводимость линии; $\varepsilon(x, \omega)$ – погонный распределенный вдоль линии источник ЭДС; x – линейная координата; ω – круговая частота.

Для возникающих на нагрузках Z_1 и Z_2 экранированного кабеля под действием ЭМИ напряжения (U_{n1} и U_{n2}) и тока (J_{n1} и J_{n2}) в предположении квазистационарности ($(\ell \ll \lambda)$, λ – минимальная длина волны в спектре ЭМИ) могут быть использованы выражения :

$$\begin{cases} I_{n1} \approx I_0 Z_{i0} \ell \frac{1}{Z_1 + Z_2} + U_0 Y_{i0} \ell \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \\ U_{n1} \approx -I_{n1} \cdot Z_1 \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} I_{n2} \approx I_0 Z_{i0} \ell \frac{1}{Z_1 + Z_2} + U_0 Y_{i0} \ell \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \\ U_{n2} \approx -I_{n2} \cdot Z_2 \end{cases} \quad (15)$$

где ℓ – длина кабеля; I_0 – наводимый под воздействием поля ток в экране кабеля, пересчитанный к точке подключения нагрузки; U_0 – внешнее напряжение экрана кабеля, пересчитанное к точке подключения нагрузки; Z_{i0} – полное погонное сопротивление связи оплетки кабеля с жилой; Y_{i0} – полная погонная проводимость связи.

Ток и напряжение экрана можно определить, используя следующие выражения:

$$I(x) = [K_1 + P(x)] \cdot \exp(-\gamma \cdot x) + [K_2 + Q(x)] \cdot \exp(\gamma \cdot x) \quad (16)$$

$$U(x) = Z_6 \cdot \{ [K_1 + P(x)] \cdot \exp(-\gamma \cdot x) + [K_2 + Q(x)] \cdot \exp(\gamma \cdot x) \} \quad (17)$$

где Z_6 – волновое сопротивление линии; $\gamma = \sqrt{j \cdot \omega \cdot \mu (G + j \cdot \omega \cdot \varepsilon)}$ – коэффициент распространения; $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{cp}$; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ ф/м; ε_{cp} – относительная диэлектрическая проницаемость среды; $\mu = \mu_0 \cdot \mu_{cp}$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; μ_{cp} – относительная магнитная проницаемость среды.

$$P(x) = \frac{1}{2Z_6} \int_{x_1}^x \exp(\gamma \cdot v) E_x \cdot dv \quad (18)$$

$$Q(x) = \frac{1}{2Z_6} \int_{x_2}^x \exp(\gamma \cdot v) E_x \cdot dv \quad (19)$$

где x_1, x_2 – координаты подсоединения первой и второй нагрузок соответственно.

Постоянные K_1 и K_2 определяются нагрузочными сопротивлениями линии:

$$K_1 = \rho_1 \cdot \exp(\gamma \cdot x_1) \frac{\rho_2 P(x_2) \exp(-\gamma \cdot x_2) - Q(x_1) \exp(\gamma \cdot x_2)}{\exp(\gamma \cdot [x_2 - x_1]) - \rho_1 \cdot \rho_2 \exp(-\gamma \cdot [x_2 - x_1])} \quad (20)$$

$$K_2 = \rho_2 \cdot \exp(-\gamma \cdot x_1) \frac{\rho_1 Q(x_1) \exp(\gamma \cdot x_2) - P(x_2) \exp(-\gamma \cdot x_2)}{\exp(\gamma \cdot [x_2 - x_1]) - \rho_1 \cdot \rho_2 \exp(-\gamma \cdot [x_2 - x_1])} \quad (21)$$

где ρ_1, ρ_2 – коэффициенты отражения на концах линии:

$$\rho_1 = (Z_1 - Z_6) / (Z_2 + Z_6); \rho_2 = (Z_2 - Z_6) / (Z_2 + Z_6); Z_6 = \sqrt{Z/Y} \quad (22)$$

где Z, Y – продольное сопротивление и поперечная проводимость линии.

Оптимизация системы защиты объекта атомной энергетики от ЭМИ.

Блочно-иерархический подход позволяет решать задачи структурно-параметрического синтеза защиты в любой постановке, включая постановку задачи оптимального синтеза. В формализованном виде структура защиты может быть представлена вектором связывающих переменных Z и векторами блочных переменных V и W ; (Z) и (V) – целочисленные, (W) – действительные. Задача структурно-параметрического синтеза защиты по критерию оптимальности можно сформулировать в двух вариантах, с использованием показателей эффективности и стоимости.

Первый вариант: обеспечение наибольшей гарантируемой вероятности нормального функционирования с учетом защиты P , в заданных условиях внешнего ЭМИ при ограничении средств на создание (или модернизацию) элементов защиты:

$$\Phi(Z, V, W) = P_r(Z, V, W) \rightarrow \max \quad (23)$$

при ограничении

$$\sum_{i=1}^n a_i \cdot c_i(Z, V_i, W_i) \leq C_0 \quad (24)$$

где c_i – затраты на использование i -го средства защиты; C_0 – предельно допустимый уровень затрат на создание (применение) систем защиты; $a_i = 1$, если i -е защитное средство или элемент структуры принимается во внимание; $a_i = 0$ в другом варианте.

Переменные $(Z), (V), (W)$ определены на ограниченных множествах целых и действительных неотрицательных чисел.

Второй вариант: обеспечение заданной гарантированной вероятности нормального функционирования с учетом защиты P , при минимальных затратах C на создание (модернизацию) элементов защиты:

$$\Phi(Z, V, W) = \sum d_i \cdot C_i(z, v_i, w_i) \rightarrow \min \quad (25)$$

при ограничении

$$P_r(Z, V, W) \geq P_{mp} \quad (26)$$

где P_{mp} – требуемое значение вероятности защиты при данной модели воздействия ЭМИ на объект энергетики.

Рассмотренные варианты оптимизации отличаются на стадии выбора критериальной (целевой) функции $\Phi(Z, V, W)$. При этом основные алгоритмы определения показателей эффективности и стоимости защитных элементов являются едиными, а меняются только вход – выходные соотношения.

Для решения задачи синтеза оптимальной защиты конкретного ОАЭ от ЭМИ, необходим расчет параметров (весовых характеристик) всех ветвей дерева (рисунок 4). Несмотря на то, что количество конечных элементов графа ограничено, расчет весов ветвей исключительно сложен и, главное, должен производиться каждый раз в полном объеме для каждого варианта конфигурации технических систем ОАЭ. Это обусловлено тем, что массогабаритные, конструкционные и другие требования даже к однотипным блокам различных технических систем могут существенно отличаться, а это влечет соответствующие изменения такой характеристики, как, например, стоимость.

Построение объектовой системы мониторинга и прогнозирования ЧС с использованием комплекса моделей защищенности

Настоящая глава посвящена разработке принципов и конкретных технических решений по внедрению комплекса математических моделей защищенности объекта атомной энергетики в систему мониторинга и прогнозирования ЧС на соответствующем объекте.

Разрабатываемая Система мониторинга и прогнозирования ЧС (СМПЧС) на объекте атомной энергетики предназначена для информационной и аналитической поддержки инженерно-административного персонала защищаемого объекта, специалистов дежурно-диспетчерских служб (далее - ДДС) органов местного самоуправления, иных лиц и организаций, обеспечивающих безопасность населения и территорий, прилегающих к защищаемому объекту.

Задачей СМПЧС является подготовка прогноза функционирования защищаемого объекта и его систем в условиях поражающего воздействия

факторов ЧС; данный прогноз используется для выработки и обоснования управленческих решений в режимах экстренного реагирования на ЧС а так же при стратегическом планировании развития объекта.

Мониторинг ЧС будем рассматривать в качестве информационного процесса. Основная направленность данного информационного процесса – уменьшение неопределенности в оценке риска.

Под функционированием СМПЧС будем подразумевать процесс преобразования информации о ПФ ЧС в оценку их воздействия на объект. Мониторинг ЧС состоит из связанного набора действий, выполняемых в определенной последовательности с использованием различных методов обработки данных и инструментальных средств, охватывающих все этапы обработки информации, начиная с получения первичных данных и заканчивая передачей информации расчетном сценарии ЧС, необходимым для выработки решений по минимизации поражающего эффекта.

Таким образом, СМПЧС представляет собой совокупность технических и программных средств:

$$C_{\text{СМПЧС}} = \{T_{\text{СМПЧС}} \cdot П_{\text{СМПЧС}}\} \quad (27)$$

где $T_{\text{СМПЧС}}$ - совокупность технических средств СМПЧС; $П_{\text{СМПЧС}}$ – совокупность программных средств СМПЧС.

Информационно-аналитическая поддержка в режиме повседневной деятельности заключается в своевременном выявлении факторов, способных оказать деструктивное воздействия на функционирование ОАЭ и оценку готовности систем и объекта в целом к выполнению целевых функций в условиях деструктивного воздействия. Данная оценка сводится к расчету соответствующего коэффициента защищенности (приведено в предыдущих главах). Превышение расчетного уровня поражающих факторов ЧС над пределами стойкости систем объекта является предпосылкой для разработки мероприятий по повышению стойкости к соответствующему воздействию.

При решении задач по расширению, модернизации защищаемого объекта, предполагается использование архивных данных, накопленных в процессе мониторинга, о наблюдениях за характеристиками внешних факторов и состояниях систем объекта, включающих архивы опасных событий с описанием их расчетных последствий, экстремальные значения параметров оперативной обстановки. Эти архивные данные должны быть использованы в качестве исходных для расчетов в модели защищенности объекта, разработанной с учетом реализации предполагаемых изменений.

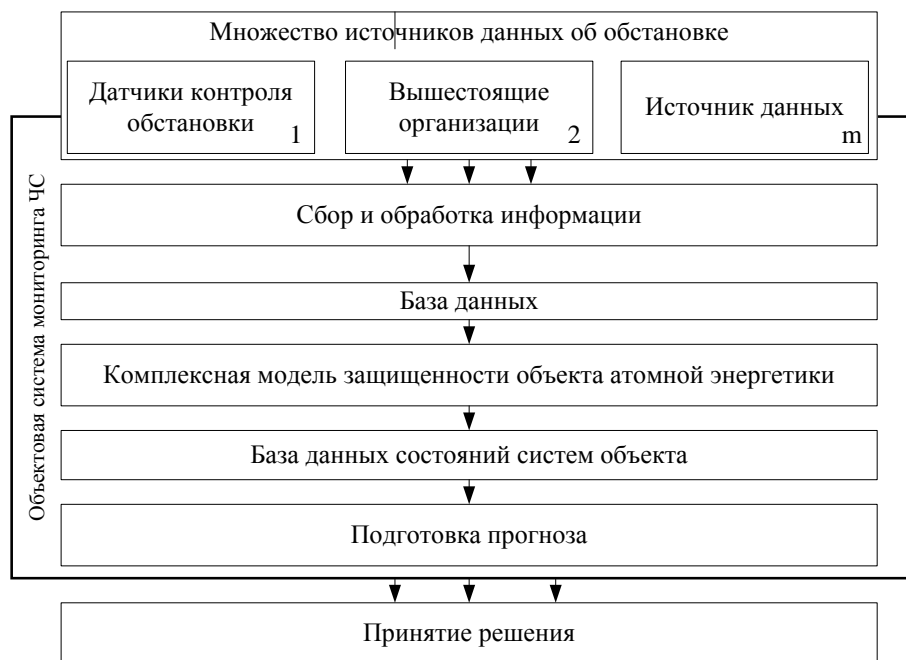


Рисунок 5 – Схема функционирования разрабатываемой системы мониторинга

Множество источников входящих данных о состоянии систем защищаемого объекта и источниках угроз представлено совокупностью информационных потоков от датчиков контроля параметров систем, параметров окружающей природной среды, ведомственных и территориальных систем мониторинга ЧС (их количество $1 \dots m$). На рисунке 5 источники входящих данных лишь частично отнесены к объектовой системе мониторинга, они могут также быть частью внешних, по отношению к защищаемому объекту, систем.

Процесс информационного взаимодействия при разработке прогноза состояний защищаемого объекта при ЧС приведен на рисунке 6.



Рисунок 6 - Схема информационного взаимодействия разрабатываемой системы мониторинга

В целом, СМПЧС может быть представлена в следующем виде:

$$M = \langle G, F, I, R \rangle \quad (28)$$

где G- цель системы; F – задачи системы; I – совокупность применяемых информационных технологий; R – совокупность информационных ресурсов.

Цели системы зависят от режима функционирования объекта: g_1 - в режиме повседневного функционирования при отсутствии поражающего воздействия факторов ЧС – сбор и анализ данных об окружающей обстановке и состоянии защищаемого объекта; g_2 - при возникновении угроз – расчет сценариев возможных аварий; g_3 - при планировании мероприятий по расширению, переоборудованию, модернизации защищаемого объекта для оценки состояния защищенности в долгосрочной перспективе.

Функциональные задачи СМПЧС могут быть представлены в следующем виде:

$$F = \{f_1, f_2, f_3, f_4\} \quad (29)$$

где f_1 - функция сбора, приведения к единому виду и хранения входящих данных; f_2 - анализ данных полученных данных а так же их визуализация; f_3 - обработка полученных данных комплексом моделей защищенности ОАЭ; f_4 - вывод информации об идентифицированных угрозах и соответствующих состояниях защищаемого объекта (достаточность/недостаточность уровня защищенности объекта).

Каждой из целей системы $g_1...g_3$ соответствует соответствующая реализация функциональных задач $f_{l,j}$ где l – номер соответствующей цели; j – номер соответствующей задачи (табл. 1).

Таблица 1- Цели и задачи системы мониторинга

Цель \ Задача	Сбор, консолидация и хранение данных f_1	Анализ и визуализация данных f_2	Введение данных в модель защищенности f_3	Оценка достаточности мероприятий (коэф. защищенности) f_4
Повседневное управление g_1	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}
Оперативное управление g_2	f_{21}	f_{22}	f_{23}	f_{24}
Стратегическое планирование g_3	-	-	f_{33}	f_{34}

Задача по представлению данных f_{12} в режиме повседневного управления реализуется путем представления оператору соответствующих конкретной тематике таблиц, карт и т.п. в автоматическом режиме. Функция по моделированию поведения систем объекта f_{13} выполняется путем использования данных, полученных при выполнении задачи f_{12} в качестве исходных для обработки комплексом моделей защищенности объекта.

При работе СМПЧС в режиме оперативного реагирования g_2 , функция сбора данных f_{21} конкретизируется по месту возникновения опасной ситуации (реализации ПФ ЧС) и так же в отношении объектов и систем, непосредственно связанных (прилегающих) к данному участку. Решение задачи f_{22} направлено на устранение неопределенностей при конкретной ЧС.

Стратегическое планирование мероприятий по модернизации, расширению и пр. g_3 реализуется путем решения задачи f_{33} ; при этом проводится анализ данных о состоянии параметров внешней среды и технических систем защищаемого объекта, накопленных за историю наблюдений. Работа системы в данном режиме подразумевает наличие достаточных временных ресурсов, при этом не требуется отдельного решения по сбору, консолидации и оперативному анализу данных. Основной задачей СМПЧС при работе в данном режиме является f_{33} , при этом производится оценка защищенности перспективной конфигурации защищаемого объекта к поражающему воздействию факторов ЧС.

Совокупность информационных ресурсов СМПЧС можно представить в следующем виде:

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_6\} \quad (30)$$

где r_1 - данные, поступающие с пунктов мониторинга; r_2 - данные, поступающие с контрольно-измерительных приборов систем объекта; r_3 - данные от смежных систем мониторинга r_4 - нормативно-техническая документация в т.ч. справочники и классификаторы; r_5 - пространственные данные, используемые при работе с картами и схемами для визуализации данных; r_6 - данные статистики.

Множество информационных технологий, применяемых в СМПЧС можно представить в следующем виде:

$$I = \{i_1, i_2, \dots, i_5\} \quad (31)$$

где i_1 - технологии, применяемые для хранения данных; i_2 - технологии ведения справочников и нормативно-технической базы; i_3 - технология оперативной аналитической обработки данных OLAP; i_4 - геоинформационные технологии; i_5 - веб-технологии.

Для решения задач обработки, анализа, представления данных f_2 , определения достаточности (недостатка) уровня защищенности объекта f_4 исходные данные мониторинга r_1, r_2, r_3, r_5 целесообразно приводить к следующему виду (t, p, s, d) (табл.2) где t - характеристика времени, p -

пространственная характеристика; s - наименование показателя, характеризующего природу конкретного события (берется из справочника); d - значение показателя.

Таблица 2 – Данные, учитываемые системой

Вид данных	t	p	s	d
состояние внешней среды	момент измерения	пункт наблюдения	физический параметр	значение физического параметра
опасное событие	период	координаты источника (эпицентра и пр.)	вид события	масштаб события
характеристика производственной площадки	время обновления данных	координаты, характеристики территории	показатель	значение показателя

Например, запись о факте выявления опасного гидрометеорологического явления будет содержать следующие поля: срок наблюдения; пункт наблюдения, на котором выявлен данный фактор; тип явления; соответствующее количественное значение.

Запись о типе опасного события техногенного происхождения будет сформирована на основе классификационных справочников, разработанных МЧС РФ.

В качестве входящих данных в систему поступает большой объем сведений различного вида и содержания, однако, объем выходных данных, предоставляемых лицу, ответственному за принятие решения (например, сотруднику ДДС), должен быть значительно меньше, учитывая особенности восприятия информации человеком в стрессовой ситуации. Поэтому, система представляет выходные данные в виде таблиц, схем, карт.

Архитектура разрабатываемой системы мониторинга и прогнозирования приведена на рисунке 7.

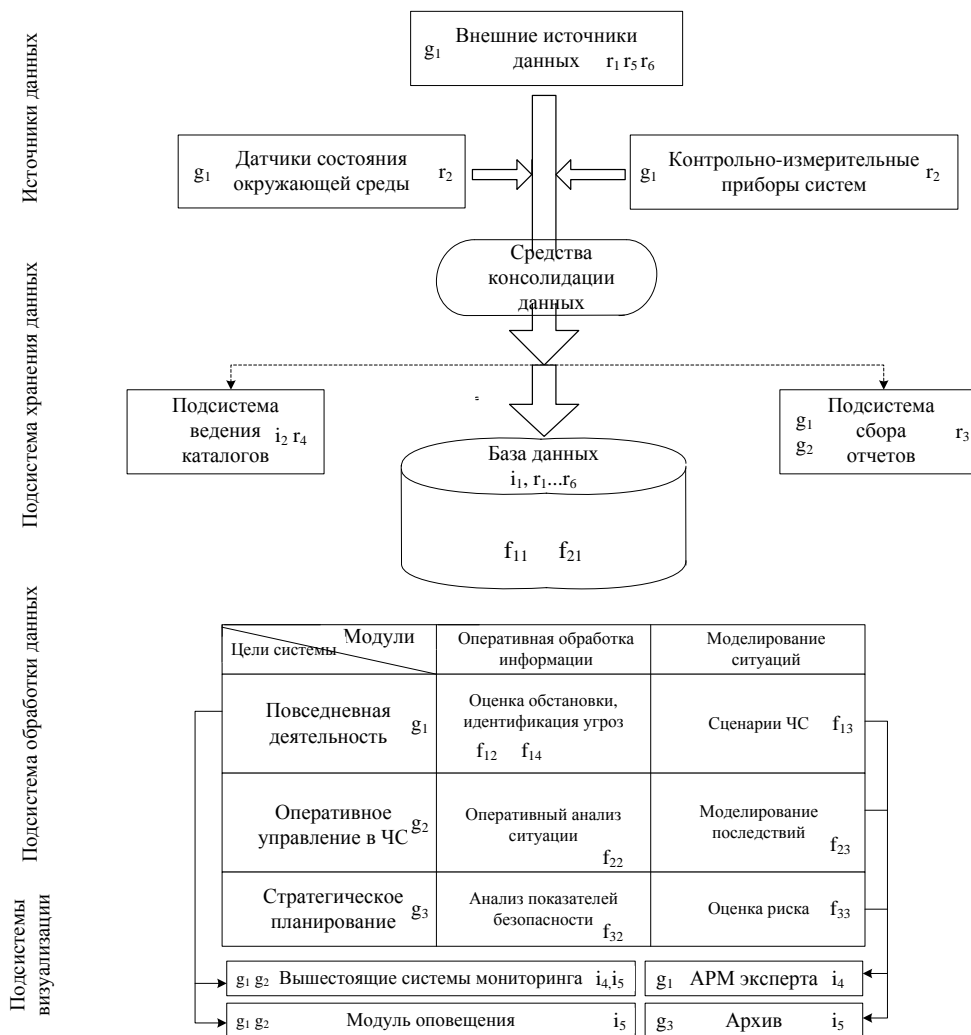


Рисунок 7 – Архитектура разрабатываемой объектовой системы мониторинга

Программная реализация разработанных моделей защищенности и системы мониторинга будет реализована на дальнейших этапах исследований и отражена при подготовке окончательной редакции диссертационного исследования.

К программной реализации, помимо описанных выше функциональных требований, будут предъявлены следующие требования – удобность интерфейса для конечного пользователя с учетом особенностей восприятия человеком информации в условиях стрессовой ситуации, открытость для модернизации в связи с привязкой комплекса моделей защищенности к реальному объекту.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа содержит 7 рисунков, 2 таблицы и 31 формулу.

Объект, (предмет) и методы исследования

Объектом исследования является деструктивное воздействие на объект атомной энергетики поражающих факторов чрезвычайной ситуации, а также процессы, инициированные данным поражающим воздействием и

происходящие в системах и элементах объекта атомной энергетики. Предметом исследования является свойство защищенности объекта атомной энергетики, а также вклад конечных элементов структуры и систем различного уровня в формирование уровня защищенности объекта в целом. Основным методом исследования является метод математического моделирования

Результаты и их обсуждение

Промежуточные результаты исследований докладывались и обсуждались на научных конференциях различного уровня. Разработанная методика построения комплекса моделей защищенности объекта и его систем была применена при разработке системы мониторинга чрезвычайных ситуаций на одном из проектируемых объектов, подведомственных Министерству обороны РФ, о чем свидетельствует полученный акт о внедрении.

Заключение

Разработанный подход к построению объектовой системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций может быть использован при построении соответствующих систем на объектах проектируемых и вводимых в эксплуатацию, а также на действующих объектах в рамках модернизации систем мониторинга ЧС.

Публикации в изданиях, рецензируемых ВАК

1. В.И. Гуменюк, И.А. Толочко, А.Ю. Туманов. Моделирование защищенности объекта энергетики от поражающего воздействия электромагнитного импульса // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2018. №3. С. 72-80.
2. В.И. Гуменюк, И.А. Толочко, А.Ю. Туманов. Моделирование защищенности объекта энергетики от чрезвычайных ситуаций: структура модели и математический аппарат // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. - 2017. Т.23. №3. С. 101-108.
3. В.И. Гуменюк, И.А. Толочко, А. Ю. Туманов. Разработка системы мониторинга чрезвычайных ситуаций для объектов энергетики // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. - 2017. Т. 23. №4. С. 48-55.

Аспирант _____ Толочко И.А.

(подпись)