

На правах рукописи



Ильин Кирилл Игоревич

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ ОПАСНЫЕ ВЕЩЕСТВА,
НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ
ПРОЕКТНЫХ И ЗАПРОЕКТНЫХ АВАРИЙ**

Специальность 05.13.12 – системы автоматизации проектирования
(промышленность)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ульяновск – 2016

Работа выполнена на кафедре физического материаловедения ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»

Научный руководитель –

Светухин Вячеслав Викторович,
доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник и руководитель направления «Радиационные технологии» НИТИ им. С.П. Капицы ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»

Официальные оппоненты:

Андреев Вячеслав Викторович,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ядерных реакторов и энергетических установок Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева;

Гайнуллин Ринат Фаязович,
кандидат технических наук, инженер-программист разработки ПО ООО «Эквид»

Ведущая организация –

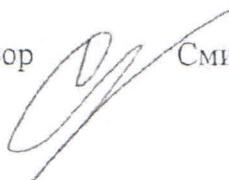
Федеральный научно-производственный центр акционерное общество «Научно-производственное объединение «Марс»

Защита состоится **16 марта 2016 г. в 12 часов 00 минут** на заседании диссертационного совета Д 212.277.01 при Ульяновском государственном техническом университете по адресу: 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32 (ауд. 211, Главный корпус).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ульяновского государственного технического университета. Также диссертация и автореферат размещены в Internet на сайте УлГТУ <http://www.ulstu.ru>.

Автореферат разослан ____ января 2016 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



Смирнов Виталий Иванович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Мир вокруг нас неизбежно меняется под влиянием деятельности человека и с каждым годом становится все более опасным для всего живого на нашей планете. Все чаще возникают ситуации, которые принято называть чрезвычайными: трагедии Бхопала и Базеля, утечка нефти в Мексиканском заливе и ядовитого шлама в Венгрии, беда Чернобыля и Фукусимы, катастрофа Саяно-Шушенской гидроэлектростанции – и это далеко не полный перечень.

В России насчитывается более 300 тысяч различных технических систем (ТС), представляющих потенциальную опасность для жизни и здоровья людей, – от радиационно и химически опасных производств до гидротехнических сооружений. Поэтому вопросы обеспечения безопасности ТС постоянно находятся в сфере внимания государства.

В связи с ужесточением требований обеспечения безопасности при реконструкции и проектировании новых ТС перед проектировщиками подобных объектов ставятся все новые задачи по обоснованию принимаемых ими решений при проектировании.

Следует отметить, что в России с конца 1980-х годов решению задач создания специальных методик для разработки автоматизированных систем (АС), оценки надежности оборудования и анализа риска деятельности ТС уделяется все большее внимание. Основы решения данных задач заложены в работах И.А. Рябинына, Ю.В. Швыряева, А.С. Можаяева, Г.А. Ершова, А.М. Бахметьева, С.В. Петрина, Б.Н. Кузика, А.А. Быкова и др.

Однако ТС, содержащие опасные вещества, имеют свою специфику, которая не позволяет использовать методологию оценки риска опасных событий, применяемую для обоснования безопасности других ТС.

В настоящее время для оценки риска аварий на подобных объектах используются экспертные оценки, которые опираются в большинстве случаев на субъективную точку зрения специалистов, проводящих анализ, и в дополнение ко всему не имеют единого алгоритма. Это в большинстве случаев приводит к недостаточной степени детальности анализа, излишней консервативности (и, соответственно, к необоснованным тратам на улучшение безопасности в местах, где опасность изначально пренебрежимо мала) и большим трудозатратам.

В связи со всем вышесказанным задача разработки специальной методологии системного анализа проектных решений с помощью АС анализа риска аварий для ТС, содержащих опасные вещества, становится очень актуальной.

Разработанная в рамках данного исследования методика позволяет унифицировать процесс оценки риска аварий в ТС, содержащих опасные вещества, связанных с выходом опасных веществ за различные барьеры безопасности. Автоматизация данной методики облегчает для специалистов процедуру обоснования проектных решений с точки зрения их безопасности.

Областью исследования является совершенствование методов и средств автоматизированного проектирования при обосновании безопасности проектируемой ТС.

В качестве объекта исследования выбраны методы и средства автоматизированного проектирования, используемые при анализе риска возникновения аварий в ТС на этапе их проектирования.

Направление исследований в диссертации связано с методами и средствами, которые введены в процесс разработки автоматизированных систем проектирования для учета негативных последствий принятия проектных решений для ТС, содержащих опасные вещества.

Роль *предмета исследований* возложена на средства моделирования проектных и запроектных аварий в ТС, содержащих опасные вещества, которые используются специалистами при выполнении процедур оценки риска аварий.

Цели и задачи исследования. Целью диссертационной работы является сокращение затрат на разработку и повышение качества формирования проектных решений, рассматриваемых при проектировании технических систем, содержащих опасные вещества, путем реализации методов и средств анализа возможных проектных и запроектных аварий в указанных системах.

В рамках цели работы решались следующие задачи:

- 1) анализ методов и средств автоматизированного проектирования, применяемых при обосновании безопасности проектируемых ТС;
- 2) разработка концептуальной схемы компонента комплекса средств автоматизированного проектирования, отвечающего за исследование безопасности проектируемой ТС, содержащей опасные вещества;
- 3) анализ проектных данных с точки зрения установления перечня исходной информации для выполнения процедуры анализа риска проектных и запроектных аварий исходя из принятых проектных решений; разработка алгоритма формирования таблиц безопасности, учитывающего характеристики проектируемого объекта (применяемое оборудование, технологические процессы);
- 4) исследование и разработка алгоритма построения логико-вероятностной модели аварий, характеризующей возможные опасные события на рассматриваемом объекте с точки зрения вероятности их возникновения, путей протекания и тяжести последствий, для проектируемой ТС, содержащей опасные вещества;
- 5) разработка нового метода формирования графической модели безопасности проектируемого объекта, учитывающей все возможные сценарии реализации опасностей, на основе построения «дерева отказов»;
- 6) разработка программных средств автоматизированного проектирования, обеспечивающих обоснование безопасности принятых проектных решений для объекта проектирования, содержащего опасные вещества;
- 7) проведение апробации работы программного комплекса для проектируемого (реконструируемого) объекта, содержащего опасные вещества.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Логико-вероятностная модель описания возможных аварий на объекте проектирования, содержащем опасные вещества, позволяющая определять требования к проектным решениям в сфере обеспечения безопасности проектируемого объекта.

2. Алгоритм формирования графической модели безопасности проектируемой ТС, основанный на построении «дерева отказов», для используемого в технологических целях оборудования.

3. Методика оценки последствий реализации проектных и запроектных аварий (на примере радиационно опасных объектов), учитывающая воздействие на людей, объекты техносферы и окружающую среду.

4. Методика классификации риска возможных проектных и запроектных аварий на проектируемом объекте (на примере радиационно опасных объектов) с выдачей рекомендаций о проведении необходимых корректирующих мероприятий.

Практическая ценность. Разработанный программно-алгоритмический комплекс экспресс-оценки выбранных для реализации проектных решений позволяет добиться следующего:

- 1) сократить время проектирования ТС с помощью реализации в программном коде алгоритма расчета вероятности возникновения аварий и возможности выгрузки результатов расчетов и графических данных;
- 2) исключить ошибки, связанные с пропуском описанных отказов оборудования, при построении «деревьев отказов» в связи с автоматизированным их построением по всем имеющимся в базе отказам;
- 3) провести полный цикл анализа риска возникновения аварий при заданных проектных решениях с выводом рекомендаций о достигнутом уровне безопасности на объекте проектирования.

Практическую ценность работы составляет программный комплекс для ЭВМ, решающий задачу автоматизации процедуры обоснования проектных решений при проектировании ТС, содержащих опасные вещества, с целью достижения заданных требований безопасности.

Внедрение результатов работы. Результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, внедрены в ООО «Научно-технический центр «ПромТех-Энерго» в форме методики и программного продукта анализа проектных решений с точки зрения обеспечения безопасной эксплуатации проектируемых ТС, содержащих опасные вещества. Результаты используются в аналитической деятельности в масштабах предприятия. Методика и программный продукт позволяют ускорить разработку проектной документации, снизить трудоемкость аналитической деятельности, а также обосновать необходимость внесения изменений в проектные решения.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Логико-вероятностная модель описания возможных аварий на проектируемых объектах, содержащих опасные вещества, заключающаяся в формировании множества угроз, имеющих на рассматриваемом объекте, и их связей.
2. Алгоритм построения графической модели аварии, заключающийся в визуализации возможных сценариев развития аварий в проектируемых системах.
3. Методика оценки ущерба от возможных проектных и запроектных аварий на радиационно опасных объектах, с учетом ущерба здоровью человека, наносимого воздействием радиоактивности.
4. Методика классификации последствий принятия проектных решений, основанная на построении F–N-диаграммы, с учетом требований международных и национальных нормативно-правовых документов.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы обсуждались на Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях», г. Ставрополь, 2010 г.; Всероссийской научной конференции с участием зарубежных ученых «Математическое и физическое моделирование опасных природных явлений и техногенных катастроф», г. Томск, 2010 г.; отраслевой научно-практической конференции молодых специалистов и аспирантов «Молодежь ЯТЦ:

наука, производство, экологическая безопасность», г. Северск, 2010 г.; 5, 6, 7, 8 и 11-й Курчатовской молодежной научной школе секции 1 «Проблемы ядерной энергетики» и секции 3 «Информационные технологии и системы», г. Москва, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2013 гг.; конференциях молодых сотрудников НИИАР по направлению «Радиационная и экологическая безопасность», г. Димитровград, 2007, 2008, 2010 гг.

Достоверность результатов проведенных исследований. Достоверность научных положений, выводов и практических результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждена:

– результатами практической проверки методов, алгоритмов и программного обеспечения с использованием разнообразных реальных данных;

– корректным обоснованием и анализом моделей, а также результатами использования разработанных в ходе диссертационного исследования математических, алгоритмических и программных методов и средств.

Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, разработанной автором.

Личный вклад автора. Постановка цели и задач исследования осуществлена совместно с научным руководителем. Все основные установленные в диссертации результаты получены соискателем самостоятельно.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 работ, из них 11 статьей, в т.ч. 9 – в журналах из перечня ВАК; 1 свидетельство об официальной регистрации программы; 1 аналитический обзор; 7 материалов всероссийских и международных конференций.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 151 наименования источников отечественных и зарубежных авторов, 14 таблиц, 38 рисунков, а также двух приложений. Общий объём диссертации составляет 226 страниц, объём приложений – 47 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи в общем виде, определены научная новизна и практическая значимость, представлена краткая аннотация диссертации по главам и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проанализировано современное состояние нормативно-правовой базы, регулирующей отношения в области анализа риска, как основы обоснования принятия проектных решений при проектировании ТС.

Общая схема регулирования законодательно-нормативных отношений в области безопасности ТС представлена на рисунке 1.

Концептуальный подход при разработке федеральных законов «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», «Об использовании атомной энергии», «О лицензировании отдельных видов деятельности» заключается в том, что деятельность, представляющая собой потенциальный источник опасности для людей и окружающей среды, должна выполняться с соблюдением требований законов, постановлений Правительства и директив курирующих ведомств, действующих нормативных документов при обязательном наличии соответствующих лицензий и деклараций безопасности, которые должны входить в состав проектной документации, а на действующих предприятиях – разрабатываться с учётом результатов оценок риска.

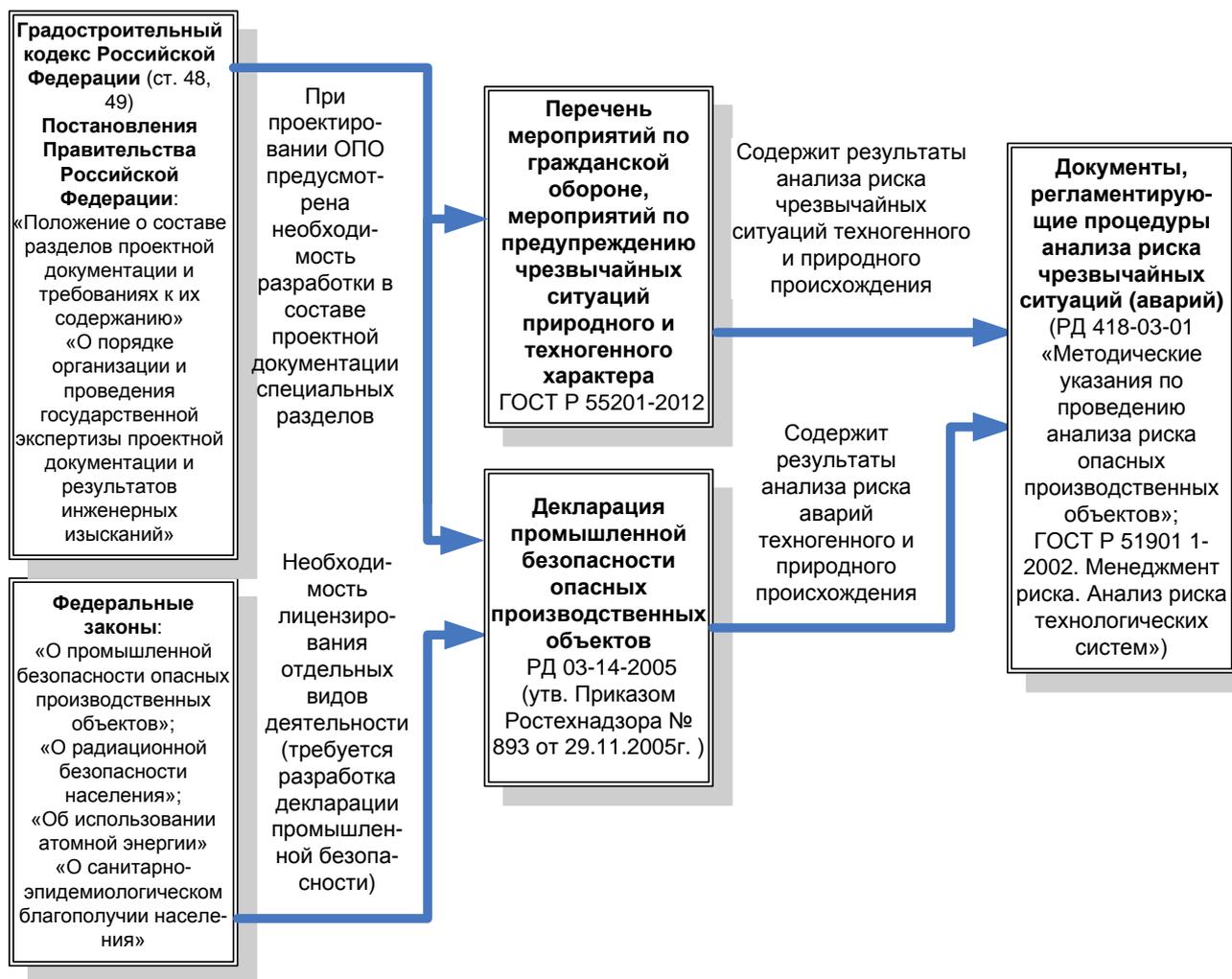


Рис. 1. Общая схема регулирования законодательно-нормативных отношений в области безопасности ТС

Декларации безопасности, учитывая особенности каждой ТС, должны подтверждать тот факт, что принятые меры безопасности достаточны для обеспечения уровня риска эксплуатации ТС, определяемого проектом, техническими регламентами и нормативными документами. Оценки риска также учитываются при оптимизации принимаемых на объекте мер безопасности, при создании страховых фондов для обеспечения ликвидации последствий возможных аварий.

Проведены исследования основных методов идентификации опасностей, используемых при обосновании безопасности ТС.

Подробно рассмотрены методы и средства автоматизированного проектирования, используемые при проведении процедур вероятностного анализа безопасности первого уровня, в частности программные компьютерные комплексы Risk Spectrum, SAPHIRE, РИСК, CRISS, АСМ СЗМА «АРБИТР» и БАРС, позволяющие автоматизировать обработку результатов вероятностного анализа безопасности.

Освещена методология анализа ущерба по результатам оценки риска. Определены основные компоненты ущерба, связанного с воздействием излучения и радиоактивных веществ (как одного из видов воздействий) на здоровье персонала и населения, а также на окружающую среду. Данные компоненты могут быть разделены

на две большие части, связанные со следующими потерями и затратами: прямые потери для здоровья; прямые экономические потери, связанные с ликвидацией последствий радиационного воздействия.

Проанализированы варианты классификации проектных и запроектных аварий по степени риска (F–N-диаграммы, матрицы риска). Представлен обзор работ зарубежных и российских ученых по исследуемой теме.

В конце первой главы формализуется постановка основной задачи исследований диссертационной работы – доработать существующую методологию анализа проектных решений с точки зрения надежности и безопасности ТС и на основе неё создать экспресс-методологию, которая охватывала бы все основные разделы анализа, но вместе с тем была бы оперативной при применении. Под оперативностью в первую очередь понимается возможность проведения комплекса необходимых расчетов самостоятельно одной организацией – персоналом объекта (проектировщиком) или одним высококвалифицированным специалистом.

Вторая глава посвящена разработке системы анализа возможных проектных и запроектных аварий, направленного на выявление всех путей развития последних и определение тяжести их последствий. На основе анализа особенностей принятия управленческих решений по обеспечению безопасности ТС в условиях меняющихся целей и задач их использования, а также требований нормативно-правовых документов были сформулированы требования, предъявляемые к разрабатываемой системе анализа проектных решений, влияющих на безопасность системы в целом:

1. Возможность обрабатывать поступающую на вход информацию о выбранных критериях безопасности, необходимых для принятия обоснованного решения.
2. Способность системы к решению задачи оценки риска аварий в количественных показателях.
3. Возможность выполнения классификации проектных и запроектных аварий для выбора наиболее критичных из них для детального рассмотрения.
4. Удобный интерфейс пользователя.
5. Возможность подключения дополнительных модулей, производящих расчеты либо предоставляющих информацию, для проведения всесторонней оценки риска.
6. Совместимость системы анализа и предупреждения опасных событий с доступным программным обеспечением.

Ограничения, учитываемые при разработке системы анализа и предупреждения опасных событий:

1. Фиксированное количество элементов рассматриваемой ТС и зависимость его от полноты и степени детализации исходных данных о применяемом оборудовании.
2. Ограниченность данных о вероятностях и интенсивностях отказов оборудования, применяемого на объектах.
3. Ограничения, накладываемые методиками, используемыми для выполнения различных процедур анализа риска.

В соответствии с этим разработана концептуальная схема компонента комплекса средств автоматизированного проектирования, отвечающего за исследование безопасности проектируемого объекта, содержащего опасные вещества (ОВ), как основы системы анализа и предупреждения аварий (рисунок 2).



Рис. 2. Концептуальная схема компонента комплекса средств автоматизированного проектирования, отвечающего за исследование безопасности проектируемого объекта, содержащего опасные вещества

После принятия решения о проведении анализа риска возможных проектных и запроектных аварий в ТС и определения его цели проводится выработка критериев, характеризующих границы приемлемого (R_{accept}) и недопустимого ($R_{inadmissible}$) риска, которые устанавливают допустимые (приемлемые) уровни воздействий опасных факторов на персонал, население, окружающую среду и уровни вмешательства при авариях различного рода. В исследовании рассмотрено задание величин приемлемого и недопустимого риска аварий при проектировании радиационно опасного объекта (как одного из видов ТС, содержащих опасные вещества). Величина приемлемого риска однозначно определяется путем задания следующих величин:

$$R_{accept} = \{DL_{pers}, MaxA, DL_{pop}, P_{accept}^{pers}, P_{accept}^{pop}\},$$

где DL_{pers} – дозовый предел при облучении персонала; DL_{pop} – дозовый предел при облучении населения; $MaxA$ – максимальная допустимая активность (токсичность) выброса ОВ в окружающую среду из ТС, создающая при наиболее неблагоприятных метеорологических условиях индивидуальную дозу для населения на уровне дозового предела для населения; P_{accept}^{pers} – допустимое значение произведения вероятности события, приводящего к облучению персонала, и вероятности смерти, связанной с облучением; P_{accept}^{pop} – допустимое значение произведения вероятности события, приводящего к облучению населения, и вероятности смерти, связанной с облучением.

Величина недопустимого риска однозначно определяется путем задания следующих величин:

$$R_{inadmissible} = \{ADose_{pers}, ADose_{pop}, P_{negligible}, P_{nat}^{pop}\},$$

где $ADose_{pers}$ – разрешенная доза переоблучения персонала; $ADose_{pop}$ – значение дозы переоблучения населения, свыше которой необходимо принятие решения о временном отселении; $P_{negligible}$ – значение минимально значимой вероятности проявления опасности; P_{nat}^{pop} – вероятность смерти людей вследствие естественных причин.

При выполнении блока «Сбор исходной информации» сначала определяется тип проектируемой ТС и распространяющиеся на нее требования нормативных документов.

Далее формируется множество элементов ТС (оборудование, помещения, здание), входящих в состав объекта $\{Eq\}$. Причем

$$Eq = \{ETSS, ETSI\},$$

где $ETSS$ – множество элементов ТС, содержащих (при нормальной эксплуатации или в аварийных случаях) опасные вещества, хранящиеся или используемые на рассматриваемом объекте (далее – ЭТСС); $ETSI$ – множество элементов технических систем (единиц оборудования), изменение состояния которых способно привести к изменению объекта размещения ОВ (далее – ЭТСИ).

$$ETSS_i = \langle NETSS, A_r, M_r, AC, SN \rangle_i, i = \overline{1, l},$$

где l – количество ЭТСС; $NETSS$ – наименование ЭТСС; A_r – максимальная для ЭТСС активность содержащихся ОВ; M_r – максимальное для ЭТСС количество содержащихся ОВ; AC – агрегатное состояние ОВ в рассматриваемом ЭТСС; SN – набор компонентов ОВ, содержащихся в ЭТСС.

$$ETSI_j = \langle NETSI, Func \rangle_j \times NETSS_i, j = \overline{1, m},$$

где m – количество ЭТСИ, которые связаны с i -м ЭТСС; $NETSI$ – наименование ЭТСИ; $Func$ – выполняемая в технологическом процессе функция ЭТСИ; $NETSS_i$ – наименование i -го ЭТСС, с которым связаны m ЭТСИ.

Каждый выявленный ЭТСС и ЭТСИ анализируется на возможность отказа вследствие следующих причин: внешних природных и техногенных воздействий, отказов оборудования, ошибок персонала, – т.е. формируется множество опасных событий, реализация которых возможна в рассматриваемой ТС.

Одним из важнейших результатов такого анализа является выявление опасных событий, способных привести к выходу ОВ за пределы элемента ТС, их содержащего. Данное событие может быть описано с помощью следующей формулы:

$$Eq^u \times OS^{Eq} \times P^{Eq} \rightarrow ETSS^{u+1} \times Dose_{pers}^{Eq}, \quad (1)$$

где OS^{Eq} – опасное событие, связанное с выходом ОВ за пределы ЭТСС; $Eq^u = \{ETSS^u, ETSI^u\}$ характеризует оборудование либо конструкции уровня u (согласно построенной на объекте схеме глубокоэшелонированной защиты), на котором произошло опасное событие с выходом ОВ за пределы ЭТСС; $ETSS^{u+1}$ характеризует оборудование либо конструкции уровня $u+1$, в котором произошла локализация вышедших ОВ; P^{Eq} – вероятность возникновения опасного события; $Dose_{pers}^{Eq}$ – доза облучения, полученная персоналом при реализации опасного собы-

тия, связанного с выходом ОБ за пределы ЭТСС уровня u и локализацией их в ЭТСС уровня $u+1$.

Далее для выявленных ЭТСС следующего уровня (содержащих вышедшие ОБ) определяются связанные с ними ЭТЦИ, и анализ повторяется по формуле (1). Критериями окончания данного процесса являются:

1) выход ОБ в количествах, которые ни при каких условиях не способны привести к негативному воздействию в соответствии с нормативными документами, т.е. $A_r^{u+1} < MZA$ и $A_r^{u+1} / M_r^{u+1} < MZUA$, где MZA – минимально значимая активность, $MZUA$ – минимально значимая удельная активность;

2) выход ОБ в окружающую среду, т.е. $NETSS^{u+1}$ = 'окружающая среда'.

После определения всех возможных путей миграции ОБ из ЭТСС одного уровня в другой формируется множество возможных отказов оборудования и конструкций ТС:

$$F_p = \left\langle OS^{Eq}, P^{Eq}, Dose_{pers}^{Eq} \right\rangle_p, p = \overline{1, q},$$

где q – количество всевозможных отказов оборудования, используемого в рассматриваемой ТС.

Информация, характеризующая множество возможных отказов оборудования и конструкций ТС, передается в блок «Вероятностный анализ безопасности 1 уровня», где определяются связи событий отказов ЭТСС и ЭТЦИ между собой с помощью логических операций и формируется логико-вероятностная модель описания возможных аварий на проектируемом объекте.

В общем случае процедура формирования сценария развития аварии (последовательность отказов ЭТСС и ЭТЦИ, приводящих к итоговому событию) для исходного проекта ТС может быть записана следующим образом:

$$funcScens : \left\{ OS^{Eq}, P^{Eq}, Dose_{pers}^{Eq} \right\} = F \rightarrow Scens_j$$

$$Scens_j = \left\{ OS^{Scens_j}, P^{Scens_j}, Dose_{pers}^{Scens_j} \right\}$$

где $\{Scens_j\}_{j=1}^s$ – множество сценариев реализации аварий, в общем случае формирующее графическую модель безопасности объекта; $\{OS^{Scens_j}\}_{j=1}^s$ – множество последовательностей опасных событий, определяющих итоговое состояние системы; $\{P^{Scens_j}\}_{j=1}^s$ – множество вероятностей реализации последовательности отказов; $\{Dose_{pers}^{Scens_j}\}_{j=1}^s$ – множество доз облучения, полученных персоналом при реализации последовательности отказов; s – количество сценариев реализации аварий.

Причем:

$\{OS^j, \wedge, \vee\} \rightarrow OS^{Scens_j}$ (логическая модель описания j -го сценария аварии на рассматриваемом объекте), где $\{OS^j\}_{j=1}^v \subset OS^{Eq}$, v – количество подмножеств множества OS ;

$\{P^j, \prod, \sum\} \rightarrow P^{Scens_j}$ (вероятностная модель описания j -го сценария аварии

на рассматриваемом объекте), где $\{P^j\}_{j=1}^v \subset P^{Eq}$, v – количество подмножеств множества P^{Eq} ;

$\{Dose_{pers}^j, \sum, Max\} \rightarrow Dose_{pers}^{Scens_j}$, где $\{Dose_{pers}^j\}_{j=1}^v \subset Dose_{pers}^{Eq}$, v – количество подмножеств множества $Dose_{pers}^{Eq}$.

Логико-вероятностная модель описания каждого из возможных сценариев аварий формируется следующим образом:

1. Определяется общее количество итоговых событий $\{OS_j^{sum}\}_{j=1}^s$, характеризующих итоговое состояние системы после череды отказов, согласно критериям окончания процесса формирования множества отказов для проектируемой ТС. Следует отметить, что общее количество итоговых событий $\{OS_j^{sum}\}_{j=1}^s$ соответствует количеству возможных проектных и запроектных аварий $\{Scens_j\}_{j=1}^s$ для рассматриваемой ТС.

2. Для каждой выявленной последовательности OS^{Scens_j} строится матрица непосредственных связей (МНС) отказов:

- определяется размер матрицы. Для этого определяется количество опасных событий в каждой выявленной последовательности OS^{Scens_j} за исключением исходных событий, которые характеризуют первичные отказы элементов ТС, приводящие к выходу ОВ из первоначальных ЭТСС: $\{OS^i\}_{i=1}^K$, где K – количество опасных событий за исключением исходных событий (т.е. первичных отказов системы). И создается матрица:

$$OS_j^M: K + 2 \times K + 2 \rightarrow \{OS^j\}_{j=1}^v,$$

где $N = K + 2$ – размер МНС для каждой выявленной последовательности OS_j^{Scens} (с помощью коэффициента 2 производится учет исходных событий (т.е. первичных отказов системы) и итогового события (характеризующего конечное состояние системы));

- диагональ матрицы OS_j^M заполняется единицами, а нижеугольная матрица – нулями, так как в данном случае мы имеем дело с ориентированным графом;

- заполняются элементы верхнеугольной матрицы:

- заполнение начинается с элемента матрицы $OS_j^{M(N-1)N}$, которому присваивается $OS_q \in \{OS_q\}_{q=1}^Q$ (где $\{OS_q\}_{q=1}^Q$ – полный перечень опасных событий в выявленной последовательности OS_j^{Scens} , Q – общее количество опасных событий в выявленной последовательности OS_j^{Scens}), характеризующее итоговое событие, приводящее к конечному состоянию системы после выполнения полного сценария аварии;
- используя атрибуты итогового опасного события ($ETSS^u, ETSS^{u+1}$) (т.е. информацию об оборудовании либо конструкции объекта уровня u , из которого произошел выход ОВ, и $u+1$, в котором произошла локализация вышедших ОВ в результате итогового опасного события), определяются опасные события, которые привели к указанному итоговому событию:

$$OS_j^{M(N-1)N}(ETSS^u, ETSS^{u+1}) \rightarrow OS_t,$$

где $t \neq q$ и $OS_t \in \{OS_q\}_{q=1}^Q$.

Причем:

- если атрибут опасного события OS_t , характеризующий оборудование либо конструкции объекта уровня u ($ETSS^u$), из которого произошел выход ОБ, является оборудованием либо конструкцией первоначального размещения ОБ согласно проектным решениям, то значение OS_t записывается в ячейку МНС $(1(N-1))$, т.е. $OS_j^{M_1(N-1)} = OS_t$. Следует отметить, что если в перечне $\{OS_q\}_{q=1}^Q$ имеется s опасных событий, атрибуты ($ETSS^u$) которых являются оборудованием либо конструкцией первоначального размещения ОБ согласно проектным решениям, и они приводят к одним и тем же последствиям, т.е.:

$$Eq_{t_1}^u \times OS_{t_1}^{Eq} \times P_{t_1}^{Eq} \rightarrow ETSS^{u+1} \times Dose_{pers}^{Eq}$$

$$Eq_{t_2}^u \times OS_{t_2}^{Eq} \times P_{t_2}^{Eq} \rightarrow ETSS^{u+1} \times Dose_{pers}^{Eq}$$

...

$$Eq_{t_s}^u \times OS_{t_s}^{Eq} \times P_{t_s}^{Eq} \rightarrow ETSS^{u+1} \times Dose_{pers}^{Eq}$$

то $OS_j^{M_1(N-1)} = OS_{t_1} \cup OS_{t_2} \cup \dots \cup OS_{t_s}$;

- если атрибут опасного события OS_t , характеризующий оборудование либо конструкции объекта уровня u ($ETSS^u$), из которого произошел выход ОБ, не является оборудованием либо конструкцией первоначального размещения ОБ согласно проектным решениям, то значение OS_t записывается в ячейку МНС $((N-1)(N-2))$, т.е. $OS_j^{M(N-1)(N-2)} = OS_t$;
- аналогично, используя атрибуты опасного события OS_t ($ETSS^u, ETSS^{u+1}$), определяются опасные события, которые привели к указанному опасному событию. Причем:

- если на предыдущем этапе $OS_j^{M_1(N-1)} = OS_t$ (т.е. данная ветвь «дерева отказов» закончена), то проводится проверка наличия дополнительных опасных событий по атрибутам итогового опасного события ($ETSS^u, ETSS^{u+1}$) и при выявлении опасного события проводится его анализ по схеме, описанной выше, только в данном случае будут заполнены следующие ячейки матрицы:
 - для атрибута ($ETSS^u$), являющегося оборудованием либо конструкцией первоначального размещения ОБ: $OS_j^{M_{1N}} = OS_r$;
 - для атрибута ($ETSS^u$), не являющегося оборудованием либо конструкцией первоначального размещения ОБ: $OS_j^{M(N-2)N} = OS_r$;
- если на предыдущем этапе $OS_j^{M(N-1)(N-2)} = OS_t$ (т.е. данная ветвь «дерева отказов» не закончена), то определяются опасные события, которые привели к указанному итоговому событию:

$$OS_j^{M(N-1)(N-2)}(ETSS^u, ETSS^{u+1}) \rightarrow OS_r,$$

где $r \neq t \neq q$ и $OS_r \in \{OS_q\}_{q=1}^Q$. Для OS_r справедливо все описанное на предыдущем этапе для OS_t , только в данном случае будут заполнены следующие ячейки матрицы:

- для атрибута ($ETSS^u$), являющегося оборудованием либо конструкцией первоначального размещения ОБ: $OS_j^{M_{1(N-2)}} = OS_r$;

- для атрибута ($ETSS^u$), не являющегося оборудованием либо конструкцией первоначального размещения ОБ: $OS_j^{M_{(N-2)(N-3)}} = OS_r$;

➤ заполнение матрицы заканчивается, когда все элементы $\{OS_q\}_{q=1}^Q$ представлены в матрице.

3. МНС с помощью последовательного исключения узлов приводится к матрице полных связей (МПС) следующим образом:

$$OS_j^M \rightarrow OS_j^{M^{full}},$$

$$\text{где } OS_j^{M^{(2)}} = OS_j^{M_{ij}} \cup OS_j^{M_{is}} OS_j^{M_{sj}}, OS_j^{M_{ij}^{(2,3)}} = OS_j^{M_{ij}^{(2)}} \cup OS_j^{M_{is}^{(2)}} OS_j^{M_{sj}^{(2)}}, \dots,$$

$$OS_j^{M_{ij}^{(2,3,\dots,p)}} = OS_j^{M^{full}},$$

где $p = K + 1$ – количество исключенных узлов МНС в ходе преобразования её в МПС.

4. Из МПС получаем логическую модель описания аварии (логическую функцию, определяющую последовательность событий, приводящих к аварии) для проектируемой ТС:

$$funcPDMA: PDMA = OS_{1(p+1)}^{M^{full}}. \quad (2)$$

Для определения итоговой вероятности реализации сценария аварии и расчета последствий аварии, связанных с воздействием на персонал, логическая функция приводится к каноническому многочлену по правилам алгебры событий, и каждое событие OS^{Scens_j} заменяется на соответствующую вероятность и дозу воздействия ОБ, полученную персоналом при реализации соответствующих опасных событий:

$$funcProbability: PDMA \rightarrow \left\{ P^{Scens_j}, Dose_{pers}^{Scens_j} \right\}. \quad (3)$$

Причем:

Условие 1. Для операции конъюнкции $OS_i^{Eq} \vee OS_j^{Eq}$ при $i \neq j$, где $i, j = \overline{1, q}$ (q – количество всевозможных отказов оборудования и конструкций проектируемого объекта), определяется в случае, когда в результате нескольких из рассматриваемых опасных событий происходит выход ОБ в один и тот же ЭТСС следующего уровня с одними и теми же характеристиками (в данном случае предполагается, что рассматриваемые опасные события являются совместными и независимыми), т.е.

$$\left. \begin{array}{l} Eq_y^u \times OS_i^{Eq} \\ Eq_p^u \times OS_j^{Eq} \end{array} \right| \Rightarrow ETSS_v^{u+1},$$

где $y, p = \overline{1, o}$ (o – количество ЭТСС и ЭТСИ на рассматриваемом объекте), а $v = \overline{1, l}$ (l – количество ЭТСС на рассматриваемом объекте). Причем связь остальных параметров F для данного случая определяется следующим образом:

– для вероятности событий: $P_i^{Eq} + P_j^{Eq} - 2 \cdot P_i^{Eq} \cdot P_j^{Eq}$, где $i, j = \overline{1, q}$ (коэффициент 2 появляется в связи с тем, что мы не рассматриваем вариант одновременного наступления обоих событий; вариант одновременного наступления обоих событий рассматривается отдельным событием);

– для дозы воздействия ОВ, полученной персоналом при реализации опасных событий: $Max(Dose_{pers}^{Eq_i}, Dose_{pers}^{Eq_j})$, где $i, j = \overline{1, q}$.

Условие 2. Для операции дизъюнкции $OS_i^{Eq} \wedge OS_j^{Eq}$ при $i \neq j$, где $i, j = \overline{1, q}$ (q – количество всевозможных отказов оборудования и конструкций на проектируемом объекте) определяется, если в результате реализации каждого из рассматриваемых опасных событий образуется последовательность, характеризующая миграцию ОВ из ЭТСС одного уровня в ЭТСС следующего уровня (в данном случае предполагается что рассматриваемые опасные события являются совместными и независимыми), т.е.

$$Eq^u \times OS_i^{Eq} \Rightarrow ETSS^{u+1} \text{ и } Eq^{u+1} \times OS_j^{Eq} \Rightarrow ETSS^{u+2}.$$

Связь остальных параметров F для данного случая определяется следующим образом:

– для вероятности событий: $P_i^{Eq} \cdot P_j^{Eq}$, где $i, j = \overline{1, q}$;

– для дозы воздействия ОВ, полученной персоналом при реализации опасных событий: $Dose_{pers}^{Eq_i} + Dose_{pers}^{Eq_j}$, где $i, j = \overline{1, q}$.

Выражения (2) и (3) совместно с условиями 1 и 2 формируют логико-вероятностную модель описания возможных сценариев проектных и запроектных аварий в проектируемой ТС, содержащей опасные вещества.

Следует отметить, что одновременно с процедурой формирования матрицы непосредственных связей отказов для рассматриваемой аварии проводится построение «дерева отказов» (рисунок 3). «Дерево отказов» строится следующим образом: рассматриваемое главное событие, характеризующее конечное состояние системы после ряда отказов, изображается на вершине дерева. При задании итогового события происходит выборка возможных причин его появления из множества отказов, формирующих сценарий аварии. Ветви дерева представляют собой пути, по которым итоговое событие может осуществиться, а связь между исходными событиями и главным событием осуществляется через условие, которое может иметь вид «И», «ИЛИ».

Дополнительно при построении «дерева отказов» проводится следующая проверка:

$\left\{ P^{Scens_j} \right\}_{j=1}^s > 10^{-7} \text{ год}^{-1}$, т.е. что вероятность итогового события больше 10^{-7} 1/год .

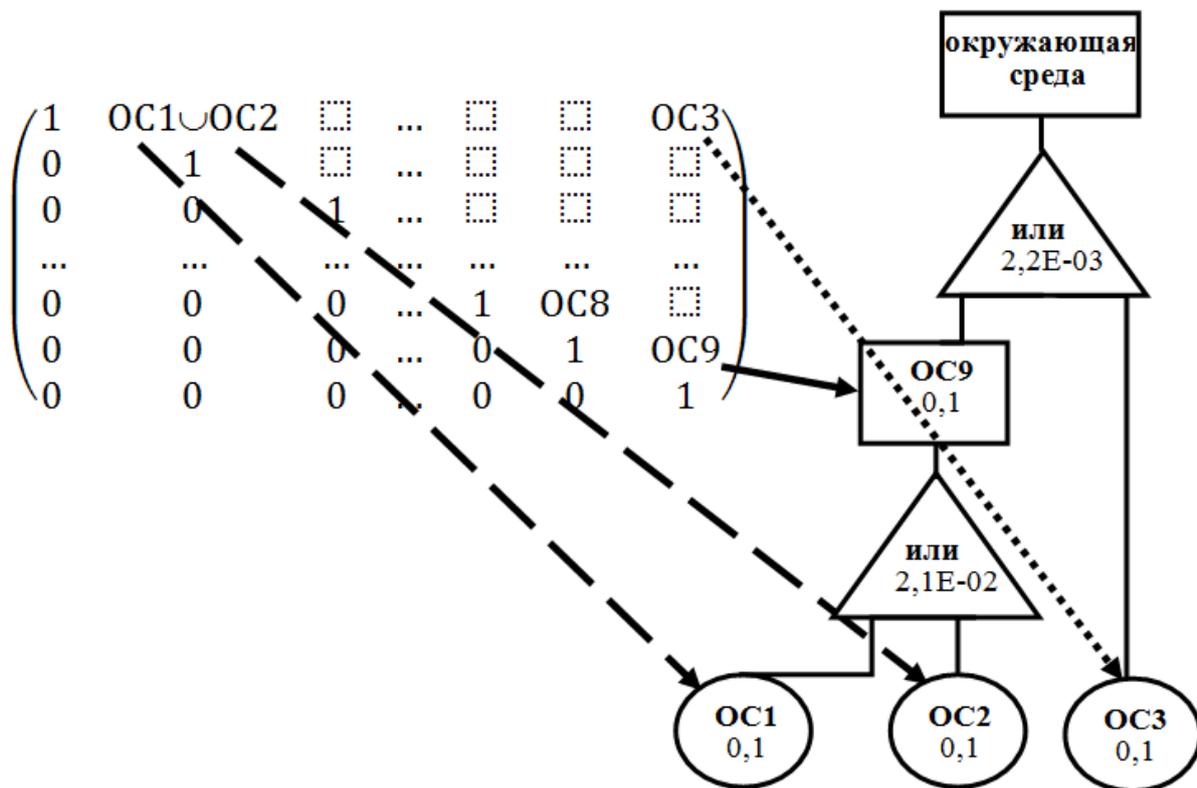


Рис. 3. Схема построения фрагмента «дерева отказов» из матрицы непосредственных связей

Далее в рамках блока «Вероятностный анализ безопасности 1 уровня» проводится дополнение модели объекта используемыми на объекте системами безопасности с указанием их надежности и эффективности функционирования при различных условиях:

$$Eq \times SB = \{ETSS, ETSI, SB\},$$

где SB – множество используемых на объекте систем безопасности. Причем

$$SB_k = \langle NSB, ParamSB \rangle_k \times N(ETSS, ETSI), k = \overline{1, n},$$

где n – количество элементов систем безопасности (СБ), которые связаны с конкретным ЭТСС или ЭТСИ; NSB – наименование используемой СБ; $ParamSB$ – параметры СБ, определяющие выполняемые функции и вероятность отказа вследствие внутренних факторов; $N(ETSS, ETSI)$ – наименование ЭТСС или ЭТСИ, контроль параметров которого осуществляют n СБ.

После выбора типа построения СБ описываются опасные события, связанные с отказом элементов СБ (аналогично описанию отказов для ЭТСС и ЭТСИ).

Далее определяются связи событий отказов ЭТСС и ЭТСИ с событиями, характеризующими отказ СБ, с помощью логических операций.

Затем все сочетания отдельных отказов показываются в формате «дерева отказов» по схеме, аналогичной построению «дерева отказов» для исходного проекта ТС, с учетом готовности систем безопасности к выявлению и ликвидации опасных событий.

После определения всех возможных сценариев аварий исходного проекта ТС и проекта, дополненного СБ, производится расчет ущерба последствий указанных аварий, т.е. формируется множество ущербов:

$$\{Dose_{pers}, A_r^{exit}, M_r^{exit}, AC^{exit}, SN^{exit}\}^{Scens_i} \Rightarrow U^{Scens_i}$$

$$\{Dose_{pers}, A_r^{exit}, M_r^{exit}, AC^{exit}, SN^{exit}\}^{ScensSB_i} \Rightarrow U^{ScensSB_i}$$

где $\left\{U^{Scens_j}\right\}_{j=1}^s$, $\left\{U^{ScensSB_j}\right\}_{j=1}^s$ – множество ущербов от реализации сценариев возможных аварий в ТС.

Следует отметить, что главным достоинством разработанной в рамках диссертационного исследования методики оценки последствий реализации проектных и запроектных аварий (на примере радиационно опасных объектов) является количественный учет для каждого возможного отказа дозовых воздействий на персонал, а также состава и количественных характеристик опасных веществ, который позволяет проводить более полное сопоставление различных проектных решений. Также методика дает возможность проводить оценку вреда для здоровья и жизни населения и персонала в соответствии с последними нормативными требованиями.

После определения всех необходимых параметров риска возможных аварий для исходного проекта ТС и проекта, дополненного СБ, проводится классификация опасных событий с помощью отображения указанных данных на матрице риска. Для этого с использованием функций *funcRisk* и *funcRiskSB* происходит возвращение некоторого результирующего значения риска набора опасных событий, характеризующего конкретный сценарий развития аварии:

$$funcRisk : \left\langle P^{Scens_j}, U^{Scens_j} \right\rangle \rightarrow Risk^{Scens_j} \text{ (исходный проект),}$$

$$funcRiskSB : \left\langle P^{ScensSB_j}, U^{ScensSB_j} \right\rangle \rightarrow Risk^{ScensSB_j} \text{ (проект с СБ).}$$

Затем происходит построение F–N-диаграммы путем передачи в блок «Классификация риска аварий» данных о выработанных критериях безопасности из блока «Выработка критериев безопасности».

В рамках данного диссертационного исследования была разработана и обоснована для применения при классификации ядерного и радиационного риска возможных проектных и запроектных аварий в проектируемых ТС, содержащих опасные вещества, методика классификации последствий принятия проектных решений, основанная на построении F–N-диаграммы, с учетом требований международных и национальных нормативно-правовых документов (рисунок 4).

По оси абсцисс F–N-диаграммы отложены вероятности возникновения аварий, рассматриваемых при проведении обоснования безопасности проектируемой ТС. Шкала является логарифмической с ограниченным диапазоном от 10^{-7} до 1 год^{-1} . Первое граничное значение продиктовано общепринятой концепцией минимально значимой вероятности проявления опасности ($P_{negligible}$), второе – недопустимостью возникновения аварий на опасных производственных объектах чаще 1 события в год.

По оси ординат отложена возможная тяжесть последствий аварий. Шкала также является логарифмической. Проведено сопоставление количественных данных, представленных в шкале, с Международной шкалой ядерных событий (INES).

Перед внесением данных о полученном риске аварии в F–N-диаграмму, с помощью методики классификации аварий производится определение уровня тяжести последствий аварий, рассмотренных в блоке «Количественная оценка последствий ОС».

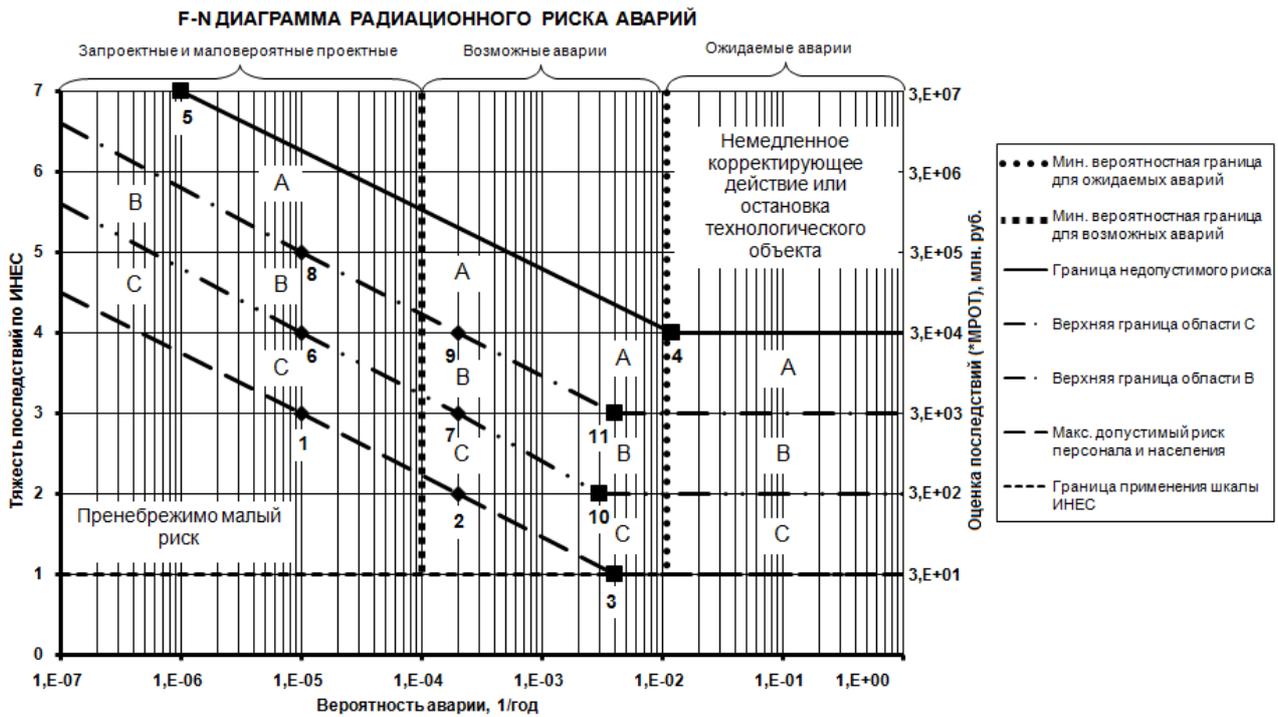


Рис. 4. F–N-диаграмма радиационного риска аварий на радиационно опасных объектах (точки 1–11 определяются из R_{accept} и $R_{inadmissible}$ и формируют коридор риска, в котором необходимо планирование и проведение соответствующих корректирующих действий, направленных на снижение вероятности возникновения исходных событий аварий и/или тяжести их последствий)

Затем проводится сопоставление степени риска указанных аварий с выработанными критериями безопасности, определяемыми допустимым для эксплуатации проектируемого объекта уровнем опасности R_{accept} , т.е.:

- если $Risk^{Scens} - R_{accept} < 0$ (аналогично $Risk^{ScensSB} - R_{accept} < 0$), то риск аварии признается пренебрежимо малым (соответственно, дальнейшее исследование данного вида аварии не требуется);

- если $Risk^{Scens} - R_{accept} > 0$ (аналогично $Risk^{ScensSB} - R_{accept} > 0$), то формируется множество корректирующих мероприятий $CorAction$, осуществление которых позволит достичь требуемого уровня безопасности ТС.

Множество корректирующих мероприятий может быть представлено в следующем виде:

$$CorAction = \{OrgAct, TehAct\},$$

где $OrgAct$ – множество организационных мероприятий, $TehAct$ – множество технических мероприятий.

Далее выявленные способы снижения риска и выработанные требования к системам безопасности сопоставляются с альтернативными решениями. Если при приемлемых затратах на корректирующие мероприятия невозможно достичь требуемого уровня безопасности проектируемого объекта, то проводится изменение критериев безопасности в пределах нормативных требований или корректировка проекта по выработанным рекомендациям. После чего анализ повторяется до тех пор, пока не будет найдено приемлемое с точки зрения обеспечения безопасной эксплуатации проектное решение.

Третья глава посвящена разработке алгоритмического программного обеспечения системы исследования безопасности проектируемой ТС, содержащей опасные вещества. На основе рассмотренного подхода к анализу риска аварий предложена система унификации данного процесса, которая позволяет снизить воздействие субъективного восприятия специалиста, проводящего анализ, на конечный результат исследования за счет: 1) алгоритмизации процесса составления вербальной модели безопасности технической системы; 2) создания экспресс-метода анализа риска, охватывающего все основные разделы анализа.

Разработанные алгоритмы позволили создать компонент комплекса средств автоматизированного проектирования, отвечающего за исследование безопасности проектируемого объекта, содержащего опасные вещества, реализующий полный цикл работ по обоснованию безопасности ТС, содержащей опасные вещества, который позволяет выработать наиболее приемлемые проектные решения при проектировании ТС с целью не превышения допустимых уровней воздействия на людей и окружающую среду.

Программный комплекс был реализован на основе структурной схемы системы анализа проектных решений в рассматриваемой ТС (рисунок 5).

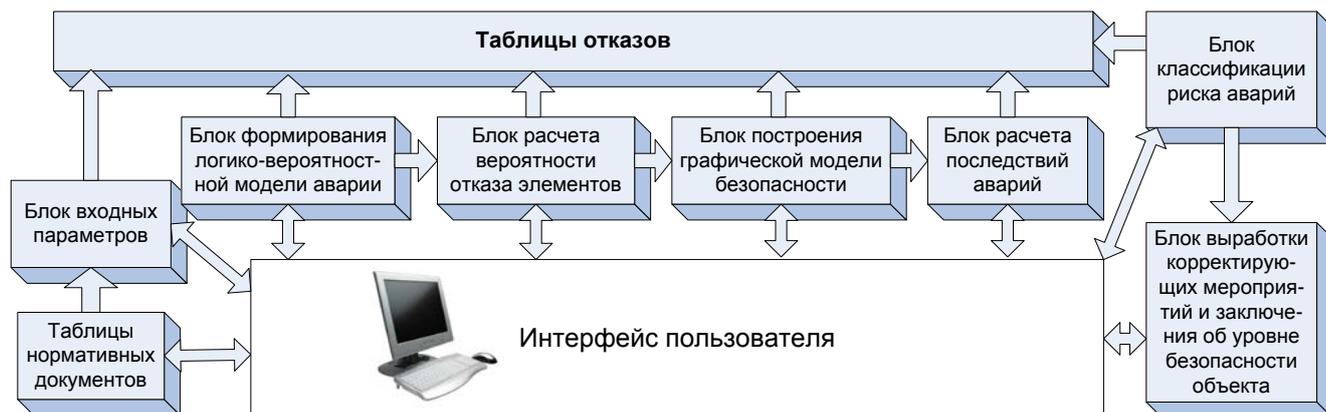


Рис. 5. Структурная схема системы анализа проектных решений в рассматриваемой ТС

Программная реализация системы позволила практически реализовать центральные задачи диссертационной работы:

- создать логико-вероятностную модель описания возможных аварий на проектируемой ТС, характеризующую возможные опасные события на рассматриваемом объекте с точки зрения вероятности их возникновения и путей протекания;
- провести автоматизацию процесса формирования графической модели безопасности проектируемой ТС на основе построения «дерева отказов», учитывающей все возможные сценарии реализации опасностей;
- разработать методику классификации аварий с выдачей рекомендации о необходимости корректировки проектных решений.

В приложении также описан интерфейс программного комплекса, определены требования по вводу исходных данных, раскрыты основные возможности по оценке вероятности возникновения неблагоприятных событий на основе моделирования «деревьев отказов», процедуры классификации аварий и формирования корректи-

рующих мероприятий для уменьшения параметров риска опасных событий и недопущения сверхнормативного воздействия на персонал, население и окружающую среду.

Четвертая глава диссертации посвящена статистическим испытаниям, оценке эффективности программного комплекса и рекомендациям по его использованию.

На основе тестов проведена всесторонняя оценка программного комплекса по быстродействию работы, затратам ресурсов, требованиям и условиям реализации. Проведен расчет трудоемкости выполнения проектных процедур, выполняемых при анализе риска аварий на проектируемом объекте.

Дополнительно выявлено, что при проектировании однотипных объектов трудоемкость может быть сокращена ещё более значительно. Данное обстоятельство достигается в связи с использованием базы данных реализованных проектов.

Разработанный программный комплекс имеет хорошие перспективы для решения задач анализа проектных решений в ТС, содержащих опасные вещества. После небольших изменений и модернизации основных блоков систему можно применять также при выполнении работ по обоснованию безопасности исследовательских ядерных установок и критических стендов. Достоинство системы заключается в ее модульном построении, при котором каждая отдельная подзадача реализуется отдельным модулем. Это не только повышает гибкость, но и позволит со временем нарастить возможности всей системы.

В заключении кратко перечислены основные результаты диссертационной работы и перспективы дальнейших исследований.

В приложении 1 приведены расчетные таблицы, используемые при работе с программным комплексом.

В приложении 2 приведено описание программного комплекса ANALYSIS AND PREVENTION OF EMERGENCY SITUATIONS ON THE OBJECTS OF THE NUCLEAR FUEL CYCLE.

Основные результаты работы

Подводя обобщающий итог диссертационному исследованию и практическим разработкам, реализованным на базе результатов исследований, можно утверждать следующее.

Цель исследований, направленная на сокращение затрат на разработку и повышение качества формирования проектных решений, рассматриваемых при проектировании технических систем, содержащих опасные вещества, путем реализации методов и средств анализа возможных проектных и запроектных аварий в указанных системах, достигнута.

Предложена, исследована и проверена совокупность средств, на базе которых осуществляется обоснование принятия проектных решений в области обеспечения безопасности ТС с использованием автоматизированных процедур.

Получены новые научные результаты:

1. Логико-вероятностная модель описания возможных аварий на объекте проектирования, содержащем опасные вещества, позволяющая определять требования к проектным решениям в сфере обеспечения безопасности проектируемого объекта.

2. Алгоритм формирования графической модели безопасности проектируемой ТС, основанный на построении «деревьев отказов», для используемого в технологических целях оборудования.

3. Методика оценки последствий реализации проектных и запроектных аварий (на примере радиационно опасных объектов), учитывающая воздействие на людей, объекты техносферы и окружающую среду.

4. Методика классификации риска возможных проектных и запроектных аварий на проектируемом объекте (на примере радиационно опасных объектов) с выдачей рекомендаций о проведении необходимых корректирующих мероприятий.

Практическая ценность

Разработанный программно-алгоритмический комплекс экспресс-оценки выбранных для реализации проектных решений позволяет добиться следующего:

1. Сократить время проектирования ТС с помощью реализации в программном коде алгоритма расчета вероятности возникновения аварии и возможности выгрузки результатов расчетов и графических данных.

2. Исключить ошибки, связанные с пропуском описанных отказов оборудования, при построении «деревьев отказов» в связи с автоматизированным их построением по всем имеющимся в базе отказам.

3. Провести полный цикл анализа риска возникновения аварий при заданных проектных решениях с выводом рекомендаций о достигнутом уровне безопасности на объекте проектирования.

Практическую ценность работы составляет программный комплекс для ЭВМ, решающий задачу автоматизации процедуры обоснования проектных решений при проектировании ТС, содержащих опасные вещества, с целью достижения заданных требований безопасности.

Список публикаций по теме диссертации

Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. Ильин, К. И. Экспертная система анализа и предупреждения возможных аварий на объектах, содержащих опасные вещества / К. И. Ильин, В. В. Светухин, О. А. Завальцева, Е. С. Пчелинцева, М. Е. Ильина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 4 (5). – С. 1038–1041.
2. Ильин, К. И. Анализ ядерного и радиационного риска аварий при эксплуатации хранилища ОЯТ / К. И. Ильин, В. В. Светухин, Б. Б. Костишко, В. Д. Кизин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 4 (5). – С. 973–977.
3. Ильин, К. И. Структурная (концептуальная) схема общей стратегии безопасности объектов ядерного топливного цикла / К. И. Ильин, В. Д. Рисованный, В. В. Светухин // Автоматизация процессов управления. – 2011. – Вып. 2 (24). – С. 12–15.
4. Ильин, К. И. Использование микроволновых технологий для подготовки радиационно-загрязненного грунта к приповерхностному захоронению / О. А. Завальцева, В. В. Светухин, Д. Я. Вострецов, К. И. Ильин, Л. В. Коновалова // Безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 7. – С. 31–35.
5. Ильин, К. И. Алгоритм формирования перечня ядерно- и радиационно опасных аварийных ситуаций при анализе риска на объектах ядерного топливно-

- го цикла / К. И. Ильин, В. В. Светухин, В. Д. Кизин // Автоматизация процессов управления. – 2010. – Вып. 4 (22). – С. 31–34.
6. Ильин, К. И. Программный комплекс анализа и предупреждения опасных событий на радиационно опасных объектах / К. И. Ильин, В. В. Светухин, Е. С. Пчелинцева // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2012. – Вып. 11. – С. 42–45.
 7. Ильин, К. И. Матрица радиационного риска как инструмент ранжирования аварий на радиационно опасных объектах / К. И. Ильин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 4 (4). – С. 957–961.
 8. Ильин, К. И. Экспертно-аналитический инструмент анализа аварий на радиационно опасных объектах / К. И. Ильин, Е. С. Пчелинцева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 4 (4). – С. 996–999.
 9. Ильин, К. И. Исследование возможности использования микроволновых технологий для подготовки радиационно-загрязненного грунта к приповерхностному захоронению / К. И. Ильин, О. А. Завальцева, Д. Я. Вострецов, Л. В. Коновалова, В. В. Светухин // Экологические системы и приборы. – 2011. – № 7. – С. 9–12.

Свидетельства об официальной регистрации ПО:

10. Ильин К. И., Светухин В. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012618644. ANALYSIS AND PREVENTION OF EMERGENCY SITUATIONS ON THE OBJECTS OF THE NUCLEAR FUEL CYCLE.

Публикации в прочих изданиях:

11. Ильин, К. И. Управление рисками на радиационно опасных объектах: обзор / К. И. Ильин, В. Д. Кизин, Е. И. Шкоков. – Димитровград : ОАО «ГНЦ НИИАР», 2009. – 100 с.
12. Ильин, К. И. Анализ ядерного и радиационного риска при эксплуатации центрального хранилища для отработавших тепловыделяющих сборок / В. А. Гремячкин, К. И. Ильин, В. Д. Кизин, В. В. Маклаков, Ш. З. Алеев // Сборник трудов: Ежеквартальный сборник науч. статей. – Димитровград : ОАО «ГНЦ НИИАР», 2010. – Вып. 3. – С. 60–64.
13. Ильин, К. И. Обоснование радиационных проектных пределов ИЯУ БОР-60 / К. И. Ильин, В. Д. Кизин, Е. И. Шкоков // Сборник трудов: Ежеквартальный сборник науч. статей. – Димитровград : ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 2008. – Вып. 1. – С. 56–60.
14. Ильин, К. И. Построение матрицы ядерного и радиационного риска для оценки значимости возможных опасных событий на объектах использования атомной энергии / К. И. Ильин, В. Д. Рисованный, В. В. Светухин // Математическое и физическое моделирование опасных природных явлений и техногенных катастроф : материалы Всероссийской конференции с участием зарубежных ученых. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2010. – С. 61–62.
15. Ильин, К. И. Алгоритм составления перечня исходных событий опасных событий при анализе ядерного и радиационного риска на ОИАЭ / К. И. Ильин, В. Д. Кизин, В. В. Светухин // Сборник аннотаций работ 7-й Курчатовской

- молодежной научной школы. – М. : РНЦ «Курчатовский институт», 2009. – С. 27.
16. Ильин, К. И. Методика расчета экономического ущерба при радиационных авариях на объектах ядерного топливного цикла / К. И. Ильин, В. В. Светухин, В. Д. Рисованый // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции (г. Ставрополь, 25 апреля 2011 г.). – Ставрополь : Изд-во СевКавГТУ Сервисшкола, 2011. – С. 94–102.
 17. Ильин, К. И. Управление рисками на радиационно опасных объектах / К. И. Ильин, В. Д. Кизин, Е. И. Шкоков // Сборник аннотаций работ 6-й Курчатовской молодежной научной школы. – М. : РНЦ «Курчатовский институт», 2008. – С.22.
 18. Ильин, К. И. Обоснование эксплуатационных пределов и пределов безопасной эксплуатации ИЯУ БОР-60 / К. И. Ильин, В. Д. Кизин, Е. И. Шкоков // Сборник трудов 5-й Курчатовской молодежной научной школы. – М. : РНЦ «Курчатовский институт», 2007. – С. 61–66.
 19. Ильин, К. И. Экспертно-аналитический инструмент анализа ядерных и радиационных аварийных ситуаций / К. И. Ильин, В. В. Светухин, В. Д. Рисованый // Сборник аннотаций работ 8-й Курчатовской молодежной научной школы. – М. : РНЦ «Курчатовский институт», 2010. – С. 23.
 20. Ильин, К. И. Структурная (концептуальная) схема общей стратегии безопасности ядерно- и радиационно опасных объектов / К. И. Ильин, В. В. Светухин // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции (г. Ставрополь, 15 апреля 2010 г.). – Ставрополь : Изд-во СевКавГТУ Сервисшкола, 2010. – С. 266–272.

Ильин Кирилл Игоревич

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ,
СОДЕРЖАЩИХ ОПАСНЫЕ ВЕЩЕСТВА, НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ
ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ПРОЕКТНЫХ
И ЗАПРОЕКТНЫХ АВАРИЙ

Автореферат

Подписано в печать 14.01.2016.
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,3.
Тираж 100 экз. Заказ 2 /

Отпечатано в Издательском центре
Ульяновского государственного университета
432000, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42