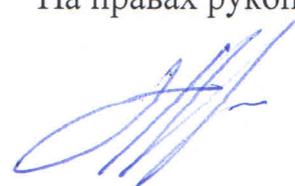


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор,
Светухин Вячеслав Викторович

Ульяновск – 2015

Оглавление

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
Глава 1. ТЕОРИЯ РИСКА И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	16
1.1. Понятие риска	16
Общие сведения о риске	16
Математические трактовки риска.....	17
1.2. Законодательная и нормативно правовая база оценок риска аварий в технических системах	18
Обзор основных федеральных законов, предусматривающих использование оценок риска	18
Об оценке риска при проектировании объектов	20
Документы, регламентирующие процедуры анализа риска	27
1.3. Анализ существующих методов идентификации опасностей в ТС	36
Методы идентификации опасностей	37
1.4. Вероятностный анализ безопасности	43
Общие сведения о вероятностном анализе безопасности.....	43
Способы выполнения ВАБ	45
Программные коды для выполнения ВАБ.....	47
1.5. Анализ существующих методик оценки ущербов радиационных аварий.....	48
Общие сведения об ущербе	48
Методики расчета ущерба от радиационных аварий	49
1.6. Варианты классификации риска аварий, используемые в международной и общероссийской практике.....	51
Общие сведения о классификации риска аварий.....	51
«F/N (F/G) — диаграмма».....	51
Матрица риска	53
Международная шкала ядерных событий	55
1.7. Обзор работ по вопросам оценивания надежности объектов содержащих опасные вещества	59
Обзор работ зарубежных ученых	59
Обзор работ российских ученых.....	63
1.8. Выводы.....	68
Глава 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА РИСКА АВАРИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ СОДЕРЖАЩИХ ОПАСНЫЕ ВЕЩЕСТВА. 71	
2.1. Единая схема проведения проектных процедур в области анализа риска возможных аварий в проектируемых ТС содержащих опасные вещества..	71
2.2. Определяющие отношения, формулы и параметры риска.....	75

Концептуальная схема компонента комплекса средств автоматизированного проектирования отвечающего за исследование безопасности проектируемого объекта содержащего опасные вещества	75
2.3. Расчет параметров надежности систем безопасности объектов.....	90
Способы задания вероятностных параметров надежности систем безопасности	90
Количественный анализ надежности систем безопасности	91
2.4. Оценка ущерба от аварий в ТС содержащих опасные вещества.....	93
Расчет ущерба от аварий.....	93
Экономическая оценка вреда для здоровья и жизни населения и персонала.....	94
Расчет затрат на обследование помещений и территорий загрязненных ОВ	96
Расчет затрат на дезактивацию помещений и территорий	97
Расчет затрат на транспортирование и захоронение опасных отходов на спецкомбинатах	97
Расчет экономических потерь вследствие вывода земель из сельскохозяйственного производства	98
Оценка имущественных потерь физических и юридических лиц в результате радиационной аварии.....	98
2.5. F-N диаграмма риска для оценки значимости возможных аварий на объектах	100
Общие сведения.....	100
Определение границ матрицы.....	107
Проектные и запроектные аварии.....	108
Приемлемый (незначительный) и недопустимый риски	108
Коридор риска.....	109
2.6. Сравнение предлагаемого метода с существующими методами.....	111
2.7. Выводы.....	113
Глава 3. ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИК.....	115
3.1. Компонент комплекса средств автоматизированного проектирования ТС содержащих опасные вещества	115
Основные принципы	115
Алгоритм формирования перечня ЭТСС и опасных событий	115
Алгоритм оценки риска аварий и их классификации.....	120
3.2. Программный комплекс анализа риска аварий в ТС	127
Структурная схема программного комплекса.....	127
3.3. Выводы.....	128
Глава 4. АПРОБИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ НА ПРАКТИКЕ	130
4.1. Анализ риска возможных аварий центрального хранилища для отработавших тепловыделяющих сборок	130

Выбор объекта исследования	130
Краткое описание объекта исследования	131
Построение ДО и оценка вероятности аварий в ЦХ ОТВС.....	142
Экономический ущерб возможных аварий в ЦХ ОТВС	148
Классификация возможных аварий с использованием матрицы ядерного и радиационного риска	151
Обоснование корректирующих мероприятий для повышения радиационной безопасности ЦХ ОТВС.....	152
4.2. Расчет экономической эффективности внедрения программного комплекса.....	153
4.3. Вывод	158
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	160
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	163
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	180
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	193

Перечень используемых сокращений

АП – автоматизированное проектирование

САПР – системы автоматизированного проектирования

КСАП – комплекс средств автоматизированного проектирования

ПМК – программно-методический комплекс

ПТК – программно-технический комплекс

ОПО – опасный производственный объект

ОВ – опасные вещества

ЭТСС – элемент технической системы, содержащий (при нормальной эксплуатации) ОВ, хранящиеся или используемые на рассматриваемом объекте

ЭТСИ – элемент технической системы, который связан с ЭТСС и изменение состояния которого способно привести к изменению объекта размещения ОВ

СБ – система безопасности

ДО – дерево отказов (неисправностей)

РОО – радиационно опасный объект

РВ – радиоактивные вещества

ЯМ – ядерные материалы

ПО – программное обеспечение

ТС – техническая система

Введение

Актуальность. 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.

Научно-технический прогресс предусматривает необходимость проектирования и внедрения все более сложных технических объектов, аварии на которых способны привести к катастрофическим последствиям не только для людей, проживающих на отдельно взятой территории, но и для всего человечества в целом.

Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.11.2009г. № 1715-р, устанавливает цели, задачи, основные направления и параметры развития топливно-энергетического баланса, предусматривая преодоление тенденции доминирования природного газа на внутреннем энергетическом рынке с уменьшением его доли в общем потреблении топливно-энергетических ресурсов, в частности за счет увеличения доли выработки электроэнергии на атомных электростанциях в общем объеме до 19,8%. Однако, эти планы могут иметь право на жизнь при условии обеспечения достаточной безопасности, как указанных объектов, так и объектов обеспечивающих их функционирование.

К тому же другой характерной чертой современности для проектировщиков является взаимное влияние и взаимосвязь технических и экономических факторов. До недавнего времени одним из решающих факторов для проектировщиков была дешевизна конструкций, причем не было должного экономического учета негативных последствий деятельности опасных предприятий. Это показал и опыт ликвидации последствий Чернобыльской аварии. Дальнейшее

развитие атомной энергетики невозможно представить без создания соответствующих механизмов управления параметрами риска аварий в особенности это относится к проектным авариям, учет которых необходим для точного выполнения мероприятий с целью минимизации негативных последствий.

Следует отметить, что в составе проектной документации [1] на объекты капитального строительства, а также в составе проектной документации в отношении отдельных этапов строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства предусмотрена необходимость разработки перечня мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (далее - Перечень). В свою очередь указанный Перечень в соответствии с [2] должен содержать, в том числе результаты анализа риска чрезвычайных ситуаций для проектируемого объекта.

Также 30 апреля 2012 года Президентом Российской Федерации утверждён документ «Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года», в соответствии с которым при решении задачи формирования эффективной системы управления в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности одним из механизмов реализации государственной политики в области экологического развития является внедрение в систему управления качеством окружающей среды методологии определения и оценки экологического риска с целью повышения обоснованности принятия управленческих решений [3].

Указанный документ ещё раз законодательно утвердил необходимость проведения достоверных оценок риска в сфере обеспечения безопасности проектируемых и эксплуатируемых опасных производственных объектов.

Следует отметить, что в России с конца 1980-х годов решению задач создания специальных методик оценки надежности оборудования и анализа риска деятельности опасных производственных объектов уделяется все большее внимание. Основы решения данных задач заложены в работах И.А. Рябина [4], Ю.В. Швыряева [5], А.С. Можаяева [6], Г.А. Ершова [7], А.М. Бахметьева [8],

В.И. Пампуро [9], В.И. Измалкова [10], С.В. Петрина [11], Б.Н. Кузыка [12], А.А. Быкова [13] и др.

Наиболее известными способами графического моделирования надежности и безопасности сложных организационно-технических систем являются последовательно-параллельные схемы, блок-схемы, графы связности, деревья событий и/или деревья отказов (ДС/ДО) [5, 8], марковские графы состояний и переходов [11], ГО-схемы, релейно-контактные схемы, схемы функциональной целостности (СФЦ) [4, 6, 7].

При выполнении исследований безопасности опасных объектов наибольшее применение нашли ДО/ДС. Менее известны ГО-схемы и СФЦ. Также не исключается использование последовательно-параллельных схем и марковских графов состояний и переходов. Графы связности и релейно-контактные схемы в практике почти не применяются. Все основные методы построения графических моделей безопасности объектов реализованы на ПЭВМ в виде программных комплексов, оснащенных графическими редакторами, встроенными базами данных и т.п.

На существующие проблемы моделирования технических систем (проблемы исходных данных, размерности и адекватности) в области опасных производственных объектов накладывается проблема постоянного ужесточения требований. Тенденции последних лет свидетельствуют о том, что в ближайшем будущем эти проблемы сохранятся, что ещё более усугубит трудности моделирования подобных систем. В связи с чем от исследователей для решения описанных проблем потребуется поиск новых решений. Этот поиск в настоящее время идет по двум направлениям. Первое направление связано с использованием аппарата разнообразных разделов математики: традиционных (алгебры логики, теории графов, теории вероятностей и надежности, матричного исчисления и др.) и новых (качественной теории дифференциальных уравнений, теории особенностей, теории бифуркации, математической теории катастроф). Второе направление — это создание комбинированных аналитико-имитационных и вероятностно-детерминированных моделей. Установлено, что

наибольший эффект от такого подхода обеспечивается при разбиении единой модели на отдельные модули, каждый из которых строится с помощью своего математического аппарата [14].

Современные методы анализа проектных решений влияющих на безопасность и надежность проектируемых объектов, как правило, направлены на исследование, как структуры, так и функции проектируемых систем. В дополнение ко всему очевидно, что значения показателей надежности и безопасности существенно зависят от экономической эффективности систем. Однако модели «эффективность-безопасность-надежность» нуждаются в значительном дальнейшем совершенствовании.

Однако каждый вид проектируемого опасного производственного объекта имеет свою специфику. Так в [15] выделены следующие типы опасных производственных объектов, на которых:

1) получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются в указанных в приложении 2 к [15] количествах опасные вещества;

2) используется оборудование, работающее под избыточным давлением более 0,07 МПа;

3) используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы (за исключением лифтов, подъемных платформ для инвалидов), эскалаторы в метрополитенах, канатные дороги, фуникулеры;

4) получают, транспортируются, используются расплавы черных и цветных металлов, сплавы на основе этих расплавов с применением оборудования, рассчитанного на максимальное количество расплава 500 килограммов и более;

5) ведутся горные работы (за исключением добычи общераспространенных полезных ископаемых и разработки россыпных месторождений полезных ископаемых, осуществляемых открытым способом без применения взрывных работ), работы по обогащению полезных ископаемых;

б) осуществляется хранение или переработка растительного сырья, в процессе которых образуются взрывоопасные пылевоздушные смеси, способные самовозгораться, возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления, а также осуществляется хранение зерна, продуктов его переработки и комбикормового сырья, склонных к самосогреванию и самовозгоранию.

Поэтому методы, используемые при проектировании ТС содержащих опасные вещества, имеют свою специфику, которая не позволяет использовать методологию оценки риска опасных событий, применяемую для обоснования безопасности других типов опасных производственных объектов (ОПО).

В настоящее время для оценки риска аварий на подобных объектах (а именно учета миграции и агрегатного состояния опасных веществ при возникновении опасных событий) используются экспертные оценки, которые опираются в большинстве случаев на субъективную точку зрения специалистов проводящих анализ и в дополнение ко всему не имеют единого алгоритма. Что 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 выше сказанным задача разработки специальной методологии системного анализа проектных решений с помощью автоматизированных систем анализа риска аварий в ТС содержащих опасные вещества становится очень актуальной.

Разработанная в рамках данного исследования методика позволяет унифицировать процесс оценки риска аварий на объектах проектирования содержащих опасные вещества, связанных с выходом этих веществ за различные барьеры безопасности. А её реализация в программном коде облегчает для специалистов процедуру обоснования проектных решений с точки зрения их безопасности.

Областью исследования является совершенствование методов и средств автоматизированного проектирования при обосновании безопасности проектируемого объекта.

В качестве *объекта исследования* выбраны методы и средства автоматизированного проектирования, используемые при анализе риска возникновения аварий на объекте проектирования, содержащем опасные вещества.

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 объектов проектирования, содержащих опасные вещества.

Роль *предмета исследований* возложена на средства моделирования возможных проектных и запроектных аварий на объектах проектирования 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. Проведение анализа 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 для проектируемой ТС содержащей опасные вещества, характеризующей возможные опасные события на рассматриваемом объекте с точки зрения вероятности их возникновения, путей протекания и тяжести последствий;
5. Разработка нового метода формирования графической модели безопасности проектируемого объекта на основе построения «Дерева отказов», учитывающей все возможные сценарии реализации опасностей;
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.

На научную новизну претендуют:

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 способ 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 его построением по всем имеющимся в базе отказам;
3. Проводить 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 «ПромТехЭнерго» 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 позволяют обосновывать 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 наносимого воздействием радиоактивности здоровью человека;
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, 2010г.; отраслевой научно-практической конференции молодых специалистов и аспирантов «Молодежь ЯТЦ: наука, производство, экологическая безопасность», г. Северск, 2010г.; 5-ой, 6-ой, 7-ой, 8-ой, и 11-ой Курчатовской молодежной научной школе секции 1 «Проблемы ядерной энергетики» и секции 3 «Информационные технологии и системы», г. Москва, 2007г., 2008г., 2009г., 2010г., 2011г., 2013г.; на Конференциях молодых сотрудников НИИАР по на-

правлению «Радиационная и экологическая безопасность», г. Димитровград, 2007г., 2008г., 2010г.

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 исследований осуществлена совместно с научным руководителем. Все основные установленные в диссертации результаты получены соискателем самостоятельно.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 работ из них: 11 статьи, из которых 9 в журналах по перечню 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 объем диссертации составляет 226 страниц, приложений составляет 47 страниц.

Глава 1. ТЕОРИЯ РИСКА И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

1.1. Понятие риска

Общие сведения о риске

Понятие риска из сферы математического анализа теории вероятности и обыденной жизни (рисковый человек, рискованная операция и др.) прочно утвердилось в научно-практической сфере деятельности.

Риск – это, по определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ, 1978 г.), ожидаемая частота нежелательных эффектов, возникающих от заданного воздействия загрязнения. Американским Агентством охраны окружающей среды под термином «риск» понимается «вероятность повреждения, заболевания или смерти при определённых обстоятельствах».

В современных условиях важнейшее значение приобретает оптимизация подходов к оценке риска. Регулирование параметрами риска позволит на новом качественном уровне управлять состоянием окружающей среды (ОС). Оценка риска находит своё применение в процессах прогнозирования возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС), регулирования параметрами риска при постановке приоритетных задач и принятия ключевых решений, при информировании широких слоёв населения о факторах риска. Поэтому в настоящее время усилия учёных и управленческого персонала направлены на снижение природного и техногенного риска и смягчение последствий ЧС путём разработки системы мер по управлению параметрами риска.

В такой постановке решение задачи управления параметрами риска требует проведения огромного комплекса мероприятий практического, экономического, научно-методического, социального, экологического, информационного и другого характера применительно к обществу в целом, к его отдельным регионам, объектам и источникам риска. В настоящее время эти подходы только начинают воплощаться в жизнь.

Математические трактовки риска

До недавнего времени человек достаточно вольно обращался с понятиями опасности, риска, аварии, страха, катастрофы и т.п. и даже не пытался их количественно оценивать. С развитием научного подхода, особенно с привнесением его в промышленность, экономику, торговлю, смысл таких понятий начал детализироваться и появилось стремление ввести меру для некоторых из них, т. е. научиться сравнивать и измерять их в каких-либо единицах (прежде всего, это касается понятия риска).

Согласно работе [16] существует две трактовки понятия риска как количественной меры опасности: риск – вероятность появления неблагоприятного события (априорная трактовка); риск – максимальный ущерб, нанесённый событием (количественная оценка).

Кроме того, риск определяется как вероятностная мера возникновения техногенных или природных явлений, сопровождающихся формированием и действием вредных факторов, а также нанесённого при этом социального, экологического, экономического и другого вида ущерба. Приводятся общая (1.1) и упрощенная (1.2) формулы для оценки риска [17]:

$$R = R_1 R_2 R_3 , \quad (1.1)$$

где R – уровень риска, то есть вероятность нанесения определённого ущерба человеку и окружающей среде; R_1 – вероятность возникновения события или явления, обуславливающего формирование и действие вредных факторов; R_2 – вероятность формирования определённого уровня физических полей, нагрузок, полей концентрации вредных веществ в различных средах и их дозовых нагрузок, воздействующих на людей и другие объекты биосферы; R_3 – вероятность того, что указанные уровни полей и нагрузок приведут к определённому ущербу.

Иногда риск интерпретируют как математическое ожидание ущерба, возникающего при авариях, катастрофах и опасных природных явлениях [17]:

$$R_{mo} = \sum_i^n R_i Y_i , \quad (1.2)$$

где R_{mo} – уровень риска, выраженный через математическое ожидание ущерба; R_i – вероятность возникновения опасного события i -го вида или типа; Y_i – ущерб при i -м событии.

Последняя интерпретация риска наиболее часто используется при решении широкого круга задач научного и практического характера, в особенности задач, касающихся общей оценки уровня безопасности.

1.2. Законодательная и нормативно правовая база оценок риска аварий в технических системах

Обзор основных федеральных законов, предусматривающих использование оценок риска

В последнее время в нашей стране изменилась законодательная и нормативно-правовая база, регулирующая решение проблем безопасности при создании, эксплуатации и снятии с эксплуатации объектов повышенной опасности, при осуществлении деятельности, представляющей собой угрозу для здоровья и жизни людей. Приняты Федеральные законы [15, 18-19], которые определяют правовые, экономические и социальные основы обеспечения безопасности при работе предприятий, использующих атомную энергию, источники ионизирующих излучений (ИИИ), опасные химические вещества. К ним также следует отнести и Федеральный закон, направленный на обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения [20], т.е. состояния здоровья населения, среды обитания человека, при котором обеспечиваются благоприятные условия его жизнедеятельности и отсутствуют вредные воздействия на людей факторов среды обитания (в том числе инфекций, отравлений, обусловленных техногенными авариями).

Закон «Об использовании атомной энергии» [18] распространяется на все виды деятельности, связанной с использованием атомной энергии, кроме «разработки, изготовления, испытаний, эксплуатации и утилизации ядерного оружия и ядерных энергетических установок военного назначения». Организация,

ведущая соответствующие работы, должна иметь разрешение (лицензию) на эту деятельность.

Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» [19] предусматривает необходимость лицензирования деятельности в области обращения с ИИИ.

Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [15] предусматривает необходимость лицензирования деятельности в области промышленной безопасности.

Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [20] предусматривает необходимость лицензирования отдельных видов деятельности, представляющих потенциальную опасность для человека.

Концептуальный подход при разработке данных Федеральных законов заключался в том, что деятельность, представляющая собой потенциальный источник опасности для людей и окружающей среды, должна выполняться с соблюдением требований законов, постановлений Правительства и директив государственных корпораций, действующих нормативных документов при обязательном наличии соответствующих лицензий. Данные лицензии выдаются на основе заявительной документации (обосновывающей возможность безопасной эксплуатации ОПО), в том числе деклараций безопасности или заключений, обоснований безопасности работ. Декларации безопасности должны входить в состав проектной документации, а на действующих предприятиях – разрабатываться с учётом результатов оценок риска. Декларации безопасности, учитывая особенности каждого ОПО, должны подтверждать тот факт, что принятые меры безопасности достаточны для обеспечения уровня риска эксплуатации ОПО, определяемого в технических регламентах и других нормативных документах. Оценки риска также учитываются при оптимизации принимаемых на ОПО мер безопасности, при создании страховых фондов для обеспечения ликвидации последствий возможных аварий.

Таким образом, на предприятиях в настоящее время действует практически единый механизм регулирования отношений в области безопасности, кото-

рый, к сожалению, не всегда основывается на умении оценивать риск и определять достаточность принятых мер безопасности на основе сопоставления имеющегося риска с приемлемым уровнем риска, кстати, законодательно не определенным.

Об оценке риска при проектировании объектов

В промышленно развитых странах проблема гармоничного сочетания технологической рациональности (экономической эффективности) производств и обеспечения промышленной безопасности решается установлением государственных требований не к организационно-техническим параметрам производства (предписывающее регулирование), а к показателям безопасности производства. Перед эксплуатирующей организацией (собственником) общество (в лице государства) ставит цель - предотвратить аварии и смягчить их последствия в случае возникновения (то есть сделать производство безопасным). При этом способов достижения цели закон не предписывает. Закон предоставляет эксплуатирующей организации (собственнику) свободу выбора способа достижения цели (целеустанавливающее регулирование), например, по критерию приемлемости риска.

В рамках целеустанавливающего регулирования проектировщик (проектная организация) на основе задания на проектирование, которое содержит требования к энергетической эффективности производства, качеству и составу продукции, разрабатывает варианты технологически рациональных решений. Проектировщик может использовать стандарты или рекомендации лучшей отраслевой практики, а может, сообразуясь со спецификой конкретного проекта, включать в него новейшие технологии или оригинальные решения, еще не вошедшие в стандарты или лучшую практику. Единственное ограничение - безопасность проектного решения, так как риск производства не должен превышать допустимый, установленный государством.

Проектирование - первый этап в осуществлении строительства. От качества проекта зависят технико-экономические показатели (ТЭП) строительства и

эксплуатационные показатели будущего здания. Проект - это комплекс графических и текстовых материалов, содержащих решения по технологии и оборудованию будущего предприятия или здания, архитектурно-планировочные и конструктивные решения, ТЭП, расчеты, обоснования, сметы.

Разработка проектной документации на строительство осуществляется на основе утвержденных обоснований инвестиций в строительстве предприятий, зданий.

Проектной документацией уточняются основные ТЭП.

Основным проектным документом на строительство является технико-экономическое обоснование.

На основании утвержденного ТЭО проекта разрабатывается рабочая документация.

Выделяют 2 этапа проектирования:



Рис. 1. Схема выполнения предпроектного этапа проектирования.

– предпроектный этап (схема представлена на рисунке 1), в том числе:

- организационно-техническая подготовка;
- инженерные изыскания.

– проектный этап (схема двухстадийного проектирования представлена на рисунке 2).



Рис. 2. Схема двухстадийного проектирования.

В Российской Федерации для подготовки проектной документации в настоящий момент руководствуются Градостроительным кодексом Российской Федерации (ст. 48, 49) и Постановлениями Правительства Российской Федерации № 87 от 16 февраля 2008 г. «Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» и № 145 от 05.03.2007 г. «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий» (с изменениями от 29.12.2007 г., 16.02.2008 г.).

Указанными документами при проектировании опасных производственных объектов предусмотрена необходимость разработки в составе проектной документации:

- декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов, разрабатываемой на стадии проектирования;

- перечня мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера для объектов использования атомной энергии (в том числе ядерных установок, пунктов хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ), опасных производственных объектов, определяемых таковыми в соответствии с законодательством Российской Федерации, особо опасных, технически сложных, уникальных объектов, объектов обороны и безопасности.

Общая схема регулирования законодательно-нормативных отношений в области безопасности опасных производственных объектов представлена на рисунке 3.

Декларация промышленной безопасности

В составе проектной документации заявитель, как указывалось ранее, должен представить на рассмотрение в экспертный орган декларацию промышленной безопасности ОПО (в отдельных случаях представляется иной документ, несущий ту же смысловую нагрузку). Как сказано в статье 14 Закона [15]:

«...Разработка декларации промышленной безопасности предполагает всестороннюю оценку риска аварии и связанной с ней угрозы; анализ достаточности принятых мер по предупреждению аварий, по обеспечению готовности организации к эксплуатации опасного производственного объекта в соответствии с требованиями промышленной безопасности, а также к локализации и ликвидации последствий аварии на опасном производственном объекте; разработку мероприятий, направленных на снижение масштаба последствий аварии и размера ущерба, нанесенного в случае аварии на опасном производственном объекте.

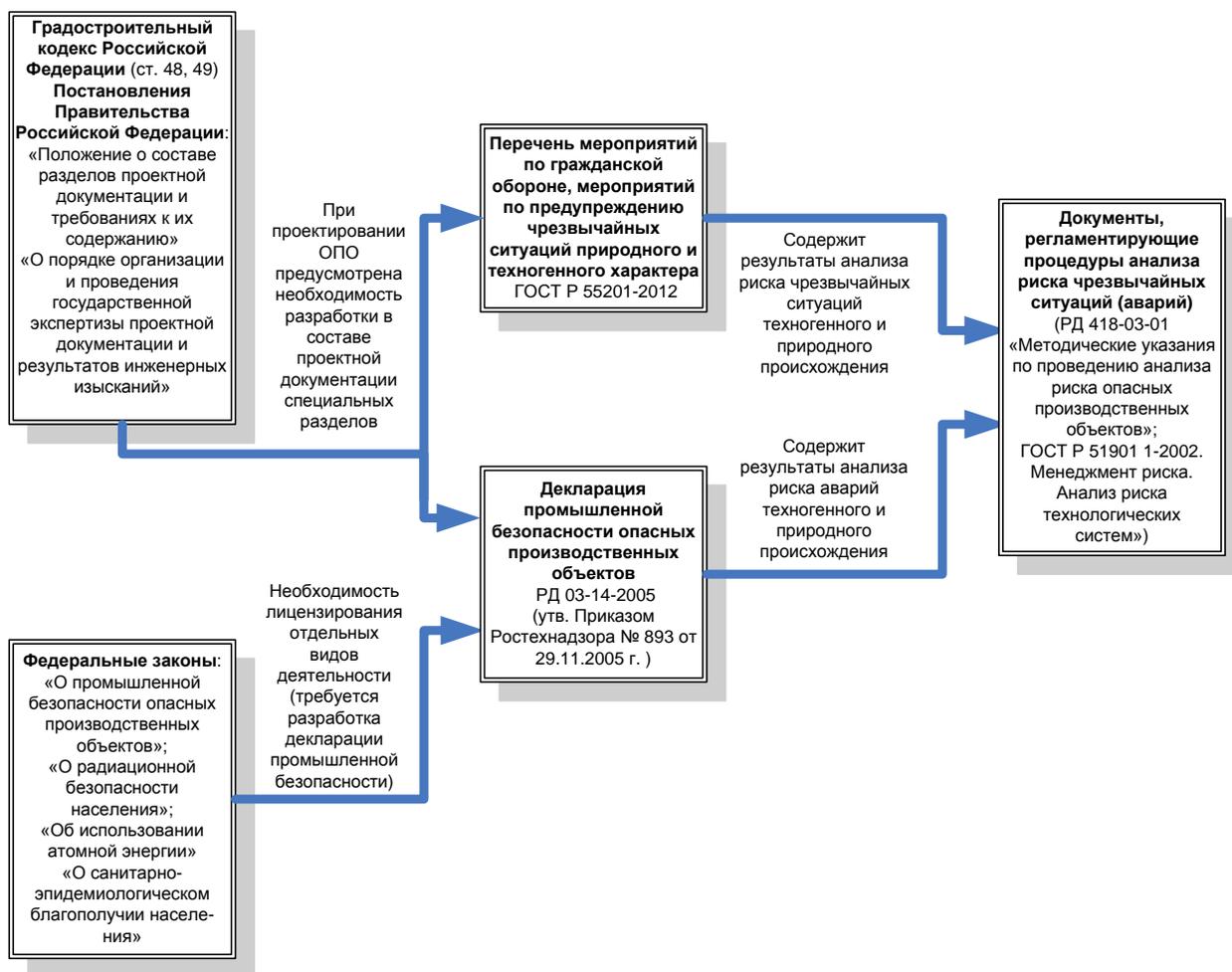


Рис. 3. Общая схема регулирования законодательно-нормативных отношений в области безопасности опасных производственных объектов

Перечень сведений, содержащихся в декларации промышленной безопасности, и порядок ее оформления определяются федеральным органом исполнительной власти в области промышленной безопасности...

...Декларация промышленной безопасности разрабатывается в составе проектной документации на строительство, реконструкцию опасного производственного объекта, а также документации на техническое перевооружение, консервацию, ликвидацию опасного производственного объекта...».

В этом Законе упомянуты типы ОПО, для которых составление декларации обязательно. Но круг этих ОПО может быть увеличен, при этом не определён критерий, по которому устанавливается необходимость оформления декларации. Обычно исходят из количества опасных материалов, находящихся на ОПО, опираясь на рекомендации, приведённые в Конвенции о трансграничном воздействии промышленных аварий.

По решениям уполномоченных на то органов исполнительной власти в нашей стране начата работа по оформлению деклараций промышленной безопасности различных производств повышенной опасности в химической, газовой промышленности и в других отраслях.

В соответствии с РД 03-14-2005 «Порядок оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в неё сведений» (утв. Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 893 от 29 ноября 2005 г. [21]) декларация промышленной безопасности содержит:

«...Раздел 2. «Результаты анализа безопасности»:...

- основные результаты анализа риска аварии.

22. Основные результаты анализа риска аварии должны включать:

1) результаты анализа условий возникновения и развития аварий:

- перечень основных возможных причин возникновения аварии и факторов, способствующих возникновению и развитию аварий;

- краткое описание сценариев наиболее вероятных аварий и наиболее опасных по последствиям аварий;

- данные о размерах вероятных зон действия поражающих факторов для описанных сценариев аварии;

- сведения о возможном числе потерпевших, включая погибших среди работников и других физических лиц с указанием максимально возможного количества потерпевших (физических лиц);

- сведения о возможном ущербе от аварий;

2) результаты оценки риска аварии, которые должны включать краткие данные о показателях риска причинения вреда работникам декларируемого объекта и иным физическим лицам, ущерба имуществу и вреда окружающей природной среде.

23. Раздел 3 «Обеспечение требований промышленной безопасности» должен включать:

1) сведения об обеспечении требований промышленной безопасности к эксплуатации декларируемого объекта:...

- перечень проведенных работ по анализу опасностей и рисков, техническому диагностированию и экспертизе технических устройств, зданий, сооружений и экспертизе промышленной безопасности с указанием наименования объекта экспертизы и организаций, проводивших указанные работы, а также даты и номера заключения экспертизы...

24. Раздел 4 «Выводы» должен включать:

1) перечень наиболее опасных составляющих и/или производственных участков декларируемого объекта с указанием показателей риска аварий;

2) перечень наиболее значимых факторов, влияющих на показатели риска;

3) перечень основных мер, направленных на уменьшение риска аварий...»

Необходимо отметить, что требования к содержанию декларации близки к тем, что применяются в зарубежных странах (в странах Европейского Сообщества декларация называется Safety Report, в США – Safety Analysis Report).

Перечень мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера

При разработке перечня мероприятий по гражданской обороне и мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в составе проектной документации на объекты капитального строительства, а также в составе проектной документации в отношении отдельных этапов строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства, применяется «ГОСТ Р 55201-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Порядок разработки перечня мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного ха-

рактера при проектировании объектов капитального строительства» (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 26.11.2012 N 1193-ст) [2].

Данным документом предусмотрено, что перечень мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, разработанный для опасного производственного объекта, должен включать в себя, в том числе, результаты анализа риска чрезвычайных ситуаций для проектируемого объекта.

Документы, регламентирующие процедуры анализа риска

В настоящий момент разработано и нормативно закреплено две общих схемы выполнения процедур анализа риска, используемых при проектировании объектов. Одна из них рекомендована к применению методическими указаниями РД 418-03-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов» (далее – Методические указания) [22], а другая – государственным стандартом «ГОСТ Р 51901 1-2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем» (далее ГОСТ) [23].

Весь процесс анализа риска разделен в соответствии с данными нормативными документами на следующие основные этапы представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение общих схем выполнения процедур анализа риска, описанных в [22] и [23].

№ п/п	Методические указания	ГОСТ
1	планирование и организация работ	определение области применения
2	идентификация опасности	идентификация опасности и предварительная оценка риска
3	оценка риска	оценка величины риска
4	разработка рекомендаций по уменьшению риска	проверка результатов анализа
5	–	документальное обоснование
6	–	корректировка результатов анализа с учетом последних данных

После первого взгляда на структуры анализа в двух различных документах можно заметить, что первые три этапа и в том, и в другом документе практически повторяют друг друга (что, однако будет опровергнуто ниже), осталь-

ные же этапы являются различными. Забегая вперед, следует отметить, что пункт 4 описанный в ГОСТ в методических указаниях включен в пункт 3, т.е. под оценкой риска в методических указаниях понимается не только сама количественная оценка величин риска, но и анализ неопределенности и точности полученных результатов. Похожим образом обстоит дело и с документальным обоснованием. В пункте 4.1.2 методических указаний сказано, что каждый этап анализа риска следует оформлять в соответствии с требованиями пункта 6, в котором содержатся полные сведения о требованиях предъявляемых к документационному оформлению результатов анализа риска.

Однако есть между этими документами одно большое различие. Пункт 4 методических указаний говорит о том, что процедура анализа риска не заканчивается после определения имеющегося на рассматриваемом объекте риска, т.е. «разработка рекомендации по уменьшению риска» является самостоятельной частью структуры анализа. В соответствии же со структурой в ГОСТ данный этап не предусмотрен.

Для более внимательного изучения процесса анализа риска и выявления недостатков существующих структур ниже подробно рассмотрены каждый из этапов анализа.

Планирование и организация работ

В данном разделе мы рассмотрим первые этапы структур процедуры анализа риска указанных выше документов.

Следует отметить, что названия разделов будут выбраны в соответствии с мнением авторов о правильности и полноте сведений представленных в том или ином документе по рассматриваемому этапу анализа.

Итак, в таблице 2 представлен перечень работ, которые необходимо выполнить для завершения первого этапа анализа в соответствии с [22] и [23].

Таблица 2 – Перечень работ первого этапа анализа риска.

№ п/п	Методические указания	ГОСТ
1	определить анализируемый опасный производственный объект и дать его общее описание	описание исследуемой системы

№ п/п	Методические указания	ГОСТ
2	описать причины и проблемы, которые вызвали необходимость проведения анализа риска	описание оснований и/или проблем, повлекших проведение анализа риска
3	подобрать группу исполнителей для проведения анализа риска	–
4	определить и описать источники информации об опасном производственном объекте	установление источников, предоставляющих подробную информацию о всех технических, связанных с окружающей средой, правовых, организационных и человеческих факторах, имеющих отношение к анализируемым действиям и проблеме
5	указать ограничения исходных данных, финансовых ресурсов и другие обстоятельства, определяющие глубину, полноту и детальность проводимого анализа риска	описание используемых предположений и ограничивающих условий при проведении анализа
6	четко определить цели и задачи проводимого анализа риска	–
7	обосновать используемые методы анализа риска	–
8	определить критерии приемлемого риска	разработка формулировок решений, которые могут быть приняты, описание требуемых выходных данных, полученных по результатам исследований и от лиц, принимающих решения

Работы, описанные в рассматриваемых нормативных документах, указанные в 1, 2, 4, 5 и 8 пунктах данной таблицы являются идентичными. Подробно остановимся лишь на основных из них требующих пояснения.

Так в соответствии с пунктом 1 должна быть проведена работа по:

- общему описанию системы;
- определению границ и областей контакта со смежными системами;
- описанию условий окружающей среды;
- выделению видов энергии, материалов и информации, превышающих допустимые границы;
- определению рабочих условий и состояний системы, на которые распространяется анализ риска, и соответствующие ограничения.

Выполнение данного пункта очень важно для понимания технологических процессов идущих на рассматриваемом объекте их взаимосвязей и тающих в них опасностей. Следует отметить, что при выполнении анализа риска

возможно возвращение к данному этапу при выявлении необходимости в дополнительной исходной информации на каком-либо из этапов анализа.

Работа по второму пункту явно перекликается с формулировкой целей и задач анализа риска (пункт 6 таблицы 2). Так проведение анализа на разных этапах жизненного цикла опасного производственного объекта¹ преследует совершенно различные цели и задачи, описанные в [22].

Пункт 3 таблицы 2 хотя и не указан в перечне работ в соответствии с [23], описан в ГОСТ отдельным пунктом 4.1.1., который устанавливает требования, предъявляемые к аналитикам участвующим в процедуре анализа риска.

Из остальных пунктов выделим пункт 8, работы в рамках которого наиболее важны с точки зрения интерпретации конечных результатов анализа. Следует отметить, что эта часть первого этапа анализа слабо описана в рассматриваемых нормативных документах, что, несомненно, является одним из главных недостатков данных документов, так как выбор критериев безопасности на основе какой-либо из принятых концепций (концепции приемлемого риска или исходя из социально-экономических соображений, основанных на соотношении риска и выгоды, и т.п.) это одно из основных технических требований. Данные требования указываются в задании на проектирование и позволяют установить допустимые (приемлемые) уровни воздействий опасных факторов на персонал, население, окружающую среду и уровни вмешательства при авариях различного рода. Определение критериев безопасности не только позволяет ранжировать риск различных опасностей, имеющих на опасном производственном объекте, но и установить степень риска рассматриваемого объекта по отношению к принятому в обществе понятию приемлемого риска.

Идентификация опасности и предварительная оценка риска

Основные задачи этапа идентификации опасностей – выявление и четкое описание всех источников опасностей и путей (сценариев) их реализации. Это

¹ Различают следующие этапы жизненного цикла опасного производственного объекта: проектирование, ввод в эксплуатацию, эксплуатация, реконструкция и вывод из эксплуатации [22].

ответственный этап анализа, так как не выявленные на этом этапе опасности не подвергаются дальнейшему рассмотрению и исчезают из поля зрения.

Известные опасности (возможно, имевшие место при авариях на подобных объектах) должны быть четко и точно определены. Для идентификации опасностей, не учитываемых ранее при проведении анализа, должны применяться формальные методы, более подробно о которых будет рассказано ниже.

Дополнительным плюсом методических рекомендаций следует отметить наличие рекомендаций по выбору метода идентификации опасности на различных стадиях жизненного цикла опасного объекта. Рекомендации по выбору методов анализа риска для различных видов деятельности и этапов функционирования опасного производственного объекта в соответствии с [22] представлены в таблице 8.

Таблица 3 – Рекомендации по выбору методов анализа риска [22].

Метод	Вид деятельности				
	Размещение (предпроектные работы)	Проектирование	Ввод/вывод из эксплуатации	Эксплуатация	Реконструкция
Анализ «Что будет, если...?»	0	+	++	++	+
Метод проверочного листа	0	+	+	++	+
Анализ опасности и работоспособности	0	++	+	+	++
Анализ видов и последствий отказов	0	++	+	+	++
Анализ деревьев отказов и событий	0	++	+	+	++
Количественный анализ риска	++	++	0	+	++

Примечания:

- «0» - наименее подходящий метод анализа;
- «+» - рекомендуемый метод;
- «+++» - наиболее подходящий метод.

Однако данные рекомендации даны без каких-либо пояснений и являются спорными по некоторым позициям.

Требования обоих рассматриваемых документов сходятся в необходимости на стадии идентификации опасностей проводить предварительную оценку риска идентифицированных опасностей, которая выполняется, основываясь на анализе последствий и изучении их основных причин. После чего определяется дальнейшее направление деятельности. В качестве вариантов дальнейших действий может быть:

- а)* принятие немедленных мер с целью исключения или уменьшения опасностей;
- б)* прекращение анализа, поскольку опасности или их последствия являются несущественными;
- в)* переход к оцениванию риска.

При проведении предварительной оценки риска идентифицированных опасностей чаще всего применяется качественное ранжирование риска, что требует иметь четкое разъяснение всех используемых терминов и обоснование всех классификаций частот и последствий.

Оценка риска

В процессе оценки величины риска для выбора критического уровня анализируемых рисков должны исследоваться начальные события или обстоятельства, последовательность потенциально опасных событий, любые смягчающие факторы и характеристики, а также природа и частота возможных пагубных последствий идентифицированных опасностей. Эти критерии и меры должны распространяться на риски для людей, имущества и окружающей среды и должны включать значения неопределенностей оценок.

Итак, в соответствии с [22] основные задачи этапа оценки риска связаны с:

- а)* определением частот возникновения инициирующих и всех нежелательных событий;
- б)* оценкой последствий возникновения нежелательных событий;

в) обобщением оценок риска.

Анализ частот используется для оценки вероятности каждого нежелательного события, идентифицированного на стадии идентификации опасности. Для определения частоты нежелательных событий рекомендуется использовать:

- статистические данные по аварийности и надежности технологической системы, соответствующие специфике опасного производственного объекта или виду деятельности;
- логические методы анализа «деревьев событий», «деревьев отказов», имитационные модели возникновения аварий в человеко-машинной системе;
- экспертные оценки путем учета мнения специалистов в данной области.

Все эти технические приемы могут применяться по отдельности или совместно. Первые два подхода являются взаимодополняющими; каждый имеет сильные стороны там, где другой имеет слабые. Повсюду, где это возможно, должны применяться оба подхода. Таким образом, они могут использоваться для взаимных проверок. Это может служить повышению степени достоверности результатов. В тех случаях, когда данные подходы не могут использоваться либо являются недостаточными, рекомендуется привлекать мнения экспертов.

Следует отметить, что ни в методических указаниях, ни в ГОСТ не определены вероятностные границы рассмотрения неблагоприятных событий, т.е. не определена минимально значимая частота события, что делает процедуру оценки риска бесконечной.

Оценка последствий включает анализ возможных воздействий на людей, имущество и/или окружающую природную среду. Для оценки последствий необходимо оценить физические эффекты нежелательных событий (отказы, разрушение технических устройств, зданий, сооружений, пожары, взрывы, выбросы токсичных веществ и т.д.), уточнить объекты, которые могут быть подвергнуты опасности. При анализе последствий аварий необходимо использовать модели аварийных процессов и критерии поражения, разрушения изучаемых объектов воздействия, учитывать ограничения применяемых моделей. Следует

также учитывать и, по возможности, выявить связь масштабов последствий с частотой их возникновения.

Обобщенная оценка риска аварий должна отражать состояние безопасности (промышленной, экологической, радиационной и т.п.) с учетом показателей риска от всех нежелательных событий, которые могут произойти на опасном производственном объекте, и основываться на результатах:

- интегрирования показателей риска всех нежелательных событий (сценариев аварий) с учетом их взаимного влияния;
- анализа неопределенности и точности полученных результатов;
- анализа соответствия условий эксплуатации требованиям безопасности (промышленной, экологической, радиационной и т.п.) и критериям приемлемого риска.

При обобщении оценок риска следует, по возможности, тщательно проанализировать неопределенность и точность полученных результатов. Имеется много неопределенностей, связанных с оценкой риска. Как правило, основными источниками неопределенностей являются неполнота информации по надежности оборудования и человеческим ошибкам, принимаемые предположения и допущения используемых моделей аварийного процесса. Чтобы правильно интерпретировать результаты оценки риска, необходимо понимать характер неопределенностей и их причины. Источники неопределенности следует идентифицировать (например, «человеческий фактор»), оценить и представить в результатах.

Следует отметить, что процедура оценки риска как в [22], так и в [23] не подразумевает проведения классификации риска анализируемых неблагоприятных событий. Это обстоятельство является главным недостатком указанных документов, так как не имея понятия о ранжировании риска неблагоприятных событий не возможно определить необходимость и срочность проведения тех или иных мероприятий, направленных на его снижение, что делает анализ неэффективной и бесполезной процедурой для практического применения на эксплуатируемых объектах.

Разработка рекомендаций по уменьшению риска

Разработка рекомендаций по уменьшению риска является, в соответствии с методическими указаниями [22], заключительным этапом анализа риска. В рекомендациях представляются обоснованные меры по уменьшению риска, основанные на результатах оценок риска.

Меры по уменьшению риска могут иметь технический и (или) организационный характер. В выборе типа меры решающее значение имеет общая оценка действенности и надежности мер, оказывающих влияние на риск, а так же размер затрат на их реализацию. На стадии проектирования опасного производственного объекта наиболее часто для уменьшения риска аварии прибегают к изменению проектных решений связанных с использованием того или иного оборудования или характеристиками зданий, помещений и т.п. Это делается для того, чтобы обеспечить достаточный задел прочности всего проекта.

Выбор планируемых проектных решений в области обеспечения безопасности имеет следующие приоритеты:

- а)** уменьшения вероятности возникновения аварий, включающие:
 - меры по уменьшению вероятности возникновения инцидента;
 - меры по уменьшению вероятности перерастания инцидента в аварию;
- б)** уменьшение тяжести последствий аварий, которые, в свою очередь, имеют следующие приоритеты:
 - меры, предусматриваемые при проектировании опасного объекта (например, выбор несущих конструкций, запорной арматуры);
 - меры, относящиеся к системам противоаварийной защиты и контроля (например, применение газоанализаторов);
 - меры, касающиеся готовности эксплуатирующей организации к локализации и ликвидации последствий аварий.

При необходимости обоснования и оценки эффективности предлагаемых проектных решений, направленных на уменьшение параметров риска, рекомендуется придерживаться двух альтернативных целей их оптимизации:

- а)* при заданных средствах обеспечить максимальное снижение риска эксплуатации опасного производственного объекта;
- б)* обеспечить снижение риска до приемлемого уровня при минимальных затратах.

Для определения приоритетности выполнения мер по уменьшению риска в условиях заданных средств или ограниченности ресурсов следует:

- определить совокупность мер, которые могут быть реализованы при заданных объемах финансирования;
- ранжировать эти меры по показателю «эффективность-затраты»;
- обосновать и оценить эффективность предлагаемых мер.

Дополнительно отметим, что выполнение данного пункта процесса анализа риска не предусмотрено в [23], что является основным недостатком данного документа, так как результаты анализа риска без их классификации и разработки рекомендаций по уменьшению риска до приемлемого уровня могут лишь определить имеющийся на опасном производственном объекте уровень риска.

1.3. Анализ существующих методов идентификации опасностей в ТС

Идентификация опасности предполагает систематическую проверку проектируемой системы с целью идентификации типа присутствующих неустрашимых опасностей и способов их проявления. Статистические записи аварий и опыт предшествующих анализов риска могут обеспечить полезный вклад в процесс идентификации опасности. Следует признать, что существует элемент субъективизма во мнениях об опасностях и что идентифицированные опасности не всегда могут быть в исчерпывающей мере теми опасностями, которые могли бы представлять угрозу для системы. Необходимо, чтобы идентифицированные опасности подвергались пересмотру при поступлении новых данных.

Методы идентификации опасности в широком смысле делятся на три категории [23]:

- а)* сопоставительные методы, примерами которых являются ведомости проверок, индексы опасностей и обзор данных эксплуатации;

- б) фундаментальные методы, которые построены таким образом, чтобы стимулировать группу исследователей к использованию прогноза в сочетании с их знаниями по отношению к задаче идентификации опасностей путем постановки ряда вопросов типа «а что, если ... ?». Примерами данного типа методологии являются исследования опасности и связанных с ней проблем (HAZOP), а также анализ видов и последствий отказов (FMEA);
- в) способы индуктивного подхода, такие как логические диаграммы возможных последствий данного события (логические диаграммы «дерева событий»).

Процесс идентификации опасностей состоит из следующих этапов:

- а) определение известных опасностей, имевших место при авариях на рассматриваемом объекте;
- б) выявление опасностей, не учитываемых ранее при проведении анализа, с помощью методов идентификации опасностей.

Независимо от применяемых методов на 2 этапе идентификации опасностей важно, чтобы в общем процессе должное внимание было уделено тому, что человеческие и организационные ошибки являются существенными факторами во многих авариях. Отсюда следует, что сценарии аварий, предусматривающие человеческую и организационную ошибку, также должны быть включены в процесс идентификации опасности, который не должен быть направлен исключительно на технические аспекты.

Методы идентификации опасностей

Метод «что будет, если...?» (WHAT IF) и метод «проверочного листа»

Анализ «что будет, если...?» (WHAT IF) и метод «проверочного листа» или их комбинация относятся к группе методов качественных оценок опасности, основанных на изучении соответствия условий эксплуатации объекта или проекта требованиям промышленной безопасности [22].

Метод «что будет, если...?» заключается в розыгрыше возможных сценариев аварий путём постановки вопроса типа «что, если произойдет такое-то событие?». Данный метод не упорядочен, возможны пропуски важных (для анализа опасностей) ситуаций. Но он хорошо дополняет метод предварительного анализа угроз (метод РНА), о котором речь пойдет ниже, в процессе исследования опасности внешних воздействий, так как в данном случае источники энергии находятся вне рассматриваемой установки и такого рода опасности не выявляются методом РНА. Для облегчения процедуры применения данного метода в [24, 25] приведён ориентировочный перечень исходных событий, связанных с внешними воздействиями на анализируемый объект (производство). Из этого перечня необходимо выбирать те исходные события (природные явления, техногенные воздействия), которые характерны для данной местности.

Результатом «проверочного листа» является перечень вопросов и ответов о соответствии опасного производственного объекта требованиям промышленной безопасности и указания по их обеспечению [26]. Метод «проверочного листа» отличается от метода «Что будет, если...?» более обширным представлением исходной информации и представлением результатов о последствиях нарушений безопасности.

Эти методы наиболее просты (особенно при обеспечении их вспомогательными формами, унифицированными бланками, облегчающими на практике проведение анализа и представление результатов), нетрудоемки (результаты могут быть получены одним специалистом в течение одного дня) и наиболее эффективны при исследовании безопасности объектов с известной технологией.

Анализ видов, последствий и критичности отказов (FMEA)

Отличительной чертой данного метода является рассмотрение каждого аппарата или элемента технической системы на предмет того, как он стал неисправным (вид и причина отказа, ранжирующаяся с учетом двух составляющих критичности - вероятности и тяжести последствий отказа) [22]. Наиболее эффективен для анализа проектов сложных технических систем или технических

решений, при проектировании и реконструкции объектов. Выполняется группой специалистов различного профиля (например, специалист по технологии, химическим процессам, инженер-механик) из 3 - 7 человек в течение нескольких дней, недель. Результаты анализа представляются в виде таблиц (например, таблица 4) с перечнем оборудования, видом и причин возможных отказов, частотой, последствиями, критичностью, средствами обнаружения неисправности (сигнализаторы, приборы контроля и т.п.) и рекомендациями по уменьшению опасности.

Таблица 4 – Рекомендуемая форма регистрации результатов по методу FMEA [22]

Номер	1	2	3	4	5	6	7

Примечание.

- 1 – дается название блока, анализируемого элемента;
- 2 – описывается функция блока (элемента);
- 3 – указывается характер отказа и его причина;
- 4 – указывается вероятность отказа (хотя бы качественно – малая, средняя, высокая);
- 5 – описываются последствия отказа;
- 6 – классифицируется тяжесть последствий (локальные, местные, региональные, глобальные);
- 7 – даются рекомендации по снижению вероятности отказов и их последствия.

Метод кроме идентификации опасностей и их ранжирования позволяет выявить неясности и неточности в инструкциях по безопасности и способствует их дальнейшему совершенствованию. Недостаток метода связан с затрудненностью его применения для анализа комбинаций событий, приводящих к аварии.

Анализ опасности и работоспособности (HAZOP)

Анализ опасности и работоспособности (HAZOP) исследует влияние отклонений технологических параметров (температуры, давления и пр.) от регламентных режимов с точки зрения возможности возникновения опасности [22]. В процессе анализа для каждой составляющей опасного производственного объекта или технологического блока определяются возможные отклонения, причины и указания по их недопущению. При характеристике отклонения ис-

пользуются ключевые слова «нет», «больше», «меньше», «также как», «другой», «иначе чем», «обратный» и т.п. Применение ключевых слов (таблица 5) помогает исполнителям выявить все возможные отклонения. Конкретное сочетание этих слов с технологическими параметрами определяется спецификой производства.

Таблица 5 – Слова-указатели [23]

Слово-указатель	Определение
Нет или не	Ни одна из частей предполагаемого результата не достигается (например, нет расхода)
Больше	Количественное увеличение (например, высокое давление)
Меньше	Количественное уменьшение (например, низкое давление)
А также	Качественное увеличение (например, дополнительный материал)
Часть (чего-то)	Качественное уменьшение (например, только один или два компонента в смеси)
Обратное	Противоположное (например, противоток)
Иначе	Ни одна из частей замысла не осуществляется, происходит что-то совершенно другое (например, поток несоответствующего материала)

Анализ деревьев отказов и деревьев событий

Практика показывает, что крупные аварии, как правило, характеризуются комбинацией случайных событий, возникающих с различной частотой на разных стадиях возникновения и развития аварии (отказы оборудования, ошибки человека, нерасчетные внешние воздействия, разрушение, выброс, пролив вещества, рассеяние веществ, воспламенение, взрыв, интоксикация и т.д.). Для выявления причинно-следственных связей между этими событиями используют логико-графические методы анализа «деревьев отказов» и «деревьев событий».

При анализе «деревьев отказов» (АДО) выявляются комбинации отказов (неполадок) оборудования, инцидентов, ошибок персонала и нерасчетных внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящих к головному событию (аварийной ситуации) [22]. Метод используется для анализа возможных причин возникновения аварийной ситуации и расчета ее частоты (на основе знания частот исходных событий). При анализе дерева отказа (аварии) рекомендуется определять минимальные сочетания событий, определяющие возникновение или невозможность возникновения аварии (минимальное пропускное и отсечное сочетания, соответственно). Структура дерева отказа включает

одно головное событие (авария, инцидент), которое соединяется с набором соответствующих нижестоящих событий (ошибок, отказов, неблагоприятных внешних воздействий), образующих причинные цепи (сценарии аварий). Для связи между событиями в «узлах» деревьев используются знаки «И» и «ИЛИ». Логический знак «И» означает, что вышестоящее событие возникает при одновременном наступлении нижестоящих событий (соответствует перемножению их вероятностей для оценки вероятности вышестоящего события). Знак «ИЛИ» означает, что вышестоящее событие может произойти вследствие возникновения одного из нижестоящих событий.

Анализ «дерева событий» (АДС) - алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийной ситуации) [23]. Этот метод основан на обратном (по отношению к предыдущему методу) анализе хода развития событий. Используется для анализа развития аварийной ситуации. Частота каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается путем умножения частоты основного события на условную вероятность конечного события (например, аварии с разгерметизацией оборудования с горючим веществом в зависимости от условий могут развиваться как с воспламенением, так и без воспламенения вещества).

Метод удобен для выявления зависимых (происходящих по общей причине) событий и при анализе последствий таких внешних воздействий, как взрыв, пожар, землетрясение, при которых возможны одновременные отказы нескольких систем безопасности. Этот метод громоздок и потому его обычно применяют в процессе ВАБ (вероятностный анализ безопасности) для выяснения последствий конкретных исходных событий (совокупности сценариев аварий) [22].

Метод предварительного анализа угроз (РНА)

Метод РНА (preliminary hazard analysis) – метод предварительного анализа угроз, заключающийся в изучении источников энергии, источников опасности и инициирующих событий, при которых высвобождаемая энергия приводит к выходу из-под контроля опасных материалов [23]. Этот метод удобен даже на

начальной стадии проектирования ОПО, когда еще нет детальной информации об исполнении систем безопасности. Метод позволяет определить основные требования безопасности к оборудованию создаваемого ОПО. Метод позволяет упорядоченным образом достаточно полно выявить угрозы опасных ситуаций, опасные зоны. Для этого разыгрываются все варианты взаимодействия источников энергии и источников опасности в предположении наличия исходного (инициирующего) события. Получающийся перечень угроз подлежит дальнейшему количественному анализу.

Метод анализа надёжности человека представляет собой систематизированную оценку факторов, влияющих на выполнение персоналом функций управления технологическим процессом. Здесь учитываются задачи, включающие в себя выяснение влияния внешних факторов на поведение человека, а также особенностей человека как элемента системы человек-машина. Выясняется влияние различных факторов на частоту ошибок человека при управлении установкой. Обычно при анализе надёжности человека (при изучении моделей поведения человека) учитывают такие факторы, как согласованность организации рабочего места и эргономических свойств человека, уровень стресса, зависимости исполнителей и руководителей работ, контролёров, адекватность реакции человека на различные сигналы, мотивацию действий персонала. Оценивается также уровень подготовки персонала, его умение действовать в необычных (в том числе аварийных) ситуациях. Соответствующая информация необходима при проведении ВАБ – в процессе анализа надёжности систем.

При анализе надёжности человека может быть использована методика, основанная на американских процедурах ATHEANA (a technique for human event analysis) [11] и HRA (human reliability analysis) [27], с учётом отечественного опыта и классификации ошибок персонала, приведённой в разделе 4 работы [28], где эта процедура названа ATHEANARUS.

Алгоритм ATHEANARUS позволяет, в лучшей степени, учитывать влияние человеческого фактора при проведении ВАБ, разрабатывать системы безопасности с учётом накопленного опыта и всех особенностей конкретных произ-

водств, предъявлять в документации соответствующие требования к порядку выполнения опасных работ, к выполнению оборудования, систем контроля, систем информирования (поддержки) операторов о ходе проведения работ, а также определять требования к организации работ в случае появления нетиповых ситуаций. Это позволяет проводить анализ безопасности на основе обычных, подтвердивших свою эффективность, методов выявления опасностей и проведения ВАБ с использованием данных справочника [29] при оценках влияния человеческого фактора, снижает вероятность просмотра в ходе анализа каких-то необычных (редких, ранее не встречавшихся) ситуаций.

1.4.Вероятностный анализ безопасности

Общие сведения о вероятностном анализе безопасности

При проведении анализа риска аварий в различных ТС на этапе проектирования одним из важнейших этапов является вероятностный анализ безопасности (ВАБ)².

Цель ВАБ:

– идентификация последовательности событий, ведущих к авариям (сценариев аварий). Используются модели аварий, выявленные при анализе опасностей;

– оценка ожидаемой вероятной частоты соответствующих цепочек развития событий, ведущих к авариям, и неопределённости результатов, для чего необходимо знание вероятной частоты исходного (инициирующего) события и вероятности отказов систем, предотвращающих аварии и ослабляющих (ограничивающих) их последствия.

ВАБ имеет следующие достоинства:

² В данном случае речь идет о ВАБ первого уровня, в процессе выполнения которого проводится разработка вероятностных моделей для определения состояний с повреждением источников, содержащих ядерное топливо и радиоактивные вещества.

– позволяет оценить целесообразность модернизации существующих конструкций и технологических процессов с точки зрения повышения уровня безопасности ТС;

– позволяет разрабатывать требования к оборудованию и выполняемым процедурам, обеспечивающие систематическое (и даже непрерывное) сопровождение уровня безопасности;

– позволяет устанавливать приоритеты будущих исследований в сфере обеспечения безопасности ТС;

– позволяет оценивать уровень риска персонала и населения, определять оптимальную стратегию страхования ответственности организации, эксплуатирующей ТС, за причинение ущерба третьим лицам, выявлять направления вложения средств, предназначенных для снижения риска (регулирования риска).

Недостатком ВАБ является некоторый субъективизм выполняемых оценок, который порождает скептицизм по отношению к получаемым количественным результатам и затрудняет нормирование безопасности на основе данных ВАБ. Поэтому в настоящее время к результатам ВАБ обычно относятся как к способам выявления (на базе единого подхода) недостатков (узких мест) в системах мер безопасности для определения целесообразности расходования ресурсов на устранение именно этих недостатков. При этом необходимость декларирования безопасности ОПО и страхования ответственности за выполнение опасных работ ведёт к более широкому применению ВАБ и необходимости получения более достоверных количественных результатов.

В целях устранения отмеченных недостатков ВАБ и расширения сферы его применения происходит постоянное совершенствование используемых процедур, вводятся поправки на неопределенность исходных данных, выполняется анализ несколькими группами экспертов, используются консервативные предположения, завышающие риск. Кроме того, ведутся работы по совершенствованию самих процедур ВАБ. В частности, создаются программные компьютерные комплексы, позволяющие автоматизировать обработку результатов ВАБ, учитывать доверительную вероятность оценок и выдавать их верхние

значения, выявлять и обсчитывать зависимые события, учитывать особенности технологических процессов, их развитие во времени, особенности используемых средств контроля. Совершенствуется база данных для проведения ВАБ.

Способы выполнения ВАБ

Для выполнения ВАБ необходимо иметь итоговое расчетное выражение, позволяющее рассчитать частоту повреждения наиболее важного блока ОПО, вероятность выхода опасных веществ за пределы герметичной оболочки, коэффициент неготовности и т.д. Это выражение (вероятностная модель безопасности) может быть представлено, например, в виде [30]:

– вероятностного многочлена

$$P_c = P\left(\sum_{i=1}^n A_i\right) = \sum_i P(A_i) - \sum_{i,j} P(A_i A_j) + \sum_{i,j,k} P(A_i A_j A_k) - \dots \\ \dots + (-1)^{n-1} P(A_1 \dots A_n)$$

– уравнений Колмогорова–Чепмена

$$\frac{dP_k(t)}{dt} = -C_k(t)P_k(t) + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^N \lambda_{lk}(t)P_l(t), k = \overline{1, N};$$

– системы логических уравнений

$$\begin{cases} y_1 = x_1 \& L_1(y_2, y_3, \dots, y_n); \\ y_2 = x_2 \& L_2(y_1, y_3, \dots, y_n); \\ \dots \\ y_j = x_j \& L_j(y_1, \dots, y_{j-1}, y_{j+1}, \dots, y_n); \\ \dots \\ y_n = x_n \& L_n(y_1, y_2, \dots, y_{n-1}); \end{cases}$$

При анализе реальных сложных систем, таких как атомная станция, непосредственное получение требуемых расчётных выражений практически невозможно из-за громоздкости расчётных выражений, большой трудоёмкости не только расчётов, но и получения самих расчётных формул, трудности формализованной постановки задачи для экспертов, не являющихся, как правило, специалистами в области теории вероятности, и из-за других причин. Поэтому ис-

комуую вероятностную модель обычно получают в несколько этапов (рис. 1) [7, 30].

Как следует из рис. 4, модели безопасности вначале строятся в виде графов. На стадии построения графа отображается основная часть закономерностей функционирования и организационных отношений между элементами системы. Качество построения графа во многом определяет адекватность модели и точность последующих расчётов. Это определяет исключительную важность данного этапа. Кроме того, большинство современных расчётных кодов, используемых при ВАБ, позволяют автоматизировать все остальные этапы моделирования, исключить человека из их выполнения, а это еще больше повышает требования к качеству построения графической модели.

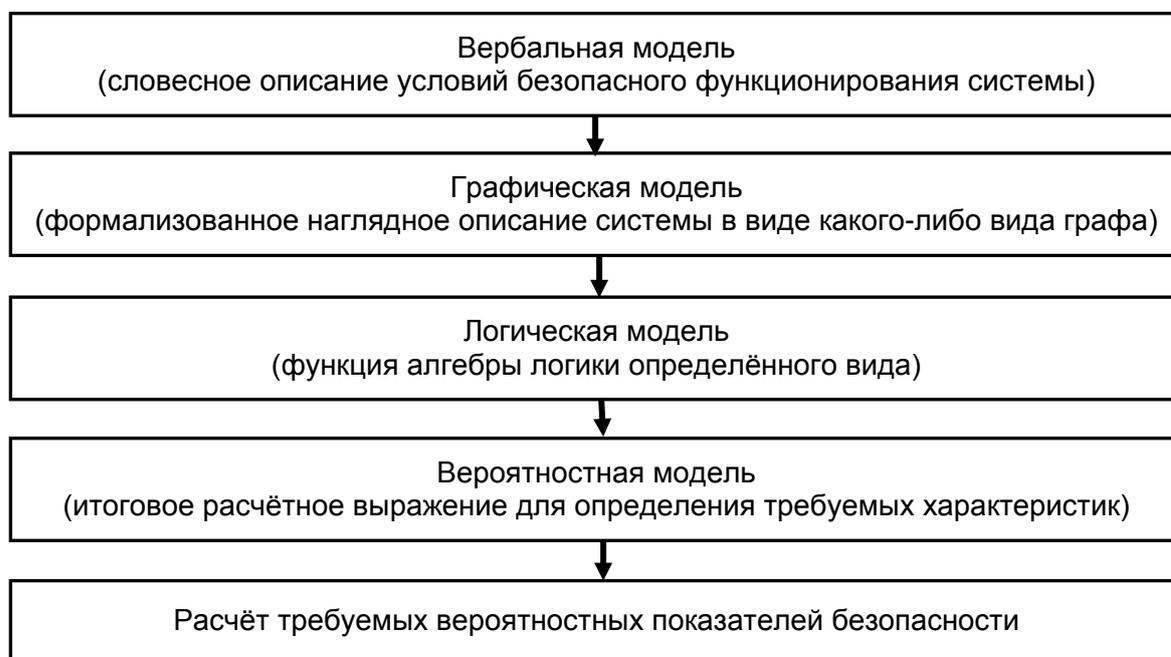


Рис. 4. Схема последовательности этапов моделирования и расчёта при выполнении ВАБ

К наиболее известным способам графического моделирования сложных организационно-технических систем относятся последовательно-параллельные схемы, графы связности, «деревья отказов» и/или «деревья событий», марковские графы состояний и переходов, ГО-схемы, релейно-контактные схемы, схемы функциональной целостности [4, 7, 11, 30–34].

Программные коды для выполнения ВАБ

Условно графическая модель безопасности ТС, состоящая из комбинации «дерева событий», «дерева отказов», базисных событий и т.д., показана на рисунке 5.

В нижней части рисунка 5 изображено ДС, каждая ветвь которого соответствует определённому пути развития аварии – аварийной последовательности. ДС начинается с инициирующего события – отказа технических средств, внешнего воздействия, ошибки персонала и

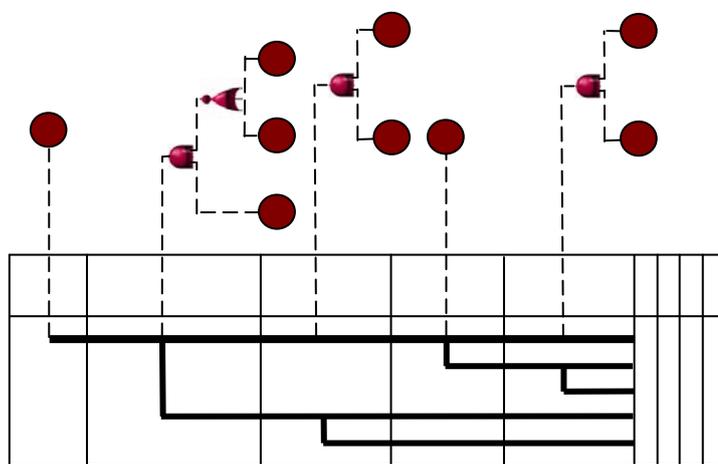


Рис. 5. Графическая модель безопасности ТС, разрабатываемая в ходе ВАБ

т.п., которое «запускает» аварийный процесс. В заголовках ДС помещено описание промежуточных событий, соответствующих срабатываниям систем безопасности, систем автоматики, действиям персонала, происходящим во время аварии. К каждому заголовку ДС «подключается» соответствующее ДО, действие персонала и т.д.

Реальные модели, разрабатываемые в ходе ВАБ, значительно сложнее изображённой на рис. 5 модели. Поэтому расчёт заданных показателей безопасности без ПЭВМ и соответствующих программ для ПЭВМ невозможен.

К настоящему времени разработано уже несколько десятков таких программ. Однако в реальной практике ВАБ используются только некоторые из них. К наиболее распространенным зарубежным кодам для ВАБ, широко используемым и в РФ, относятся ПК Risk Spectrum [35-37], SAPHIRE, ПК Relex [38] и др. [39, 40]. Перечисленные коды, как и многие другие зарубежные коды, основаны на использовании технологии и методов «дерева событий» и «дерева отказов».

С 2000-ых годов оживилась работа по созданию кодов для ВАБ и в России. К таким кодам следует отнести код Risk [41], разработанный в ОЦРК Минатома РФ под руководством профессора Рустама Талгатовича Исламова, и код CRISS [8, 42], разработанный в ОКБМ И.И. Африкантова под руководством Александра Михайловича Бахметьева. Данные коды основаны на технологии ДС и ДО.

В то же время в России разработаны методы и коды на их основе, которые основаны на построении схем функциональной целостности (СФЦ). Наиболее известным современным программным комплексом, разработанным в рамках данного направления под руководством профессора А.С. Можяева, является программный комплекс (ПК) «АСМ СЗМА» [31], основное рабочее окно которого показано на рис. 6.

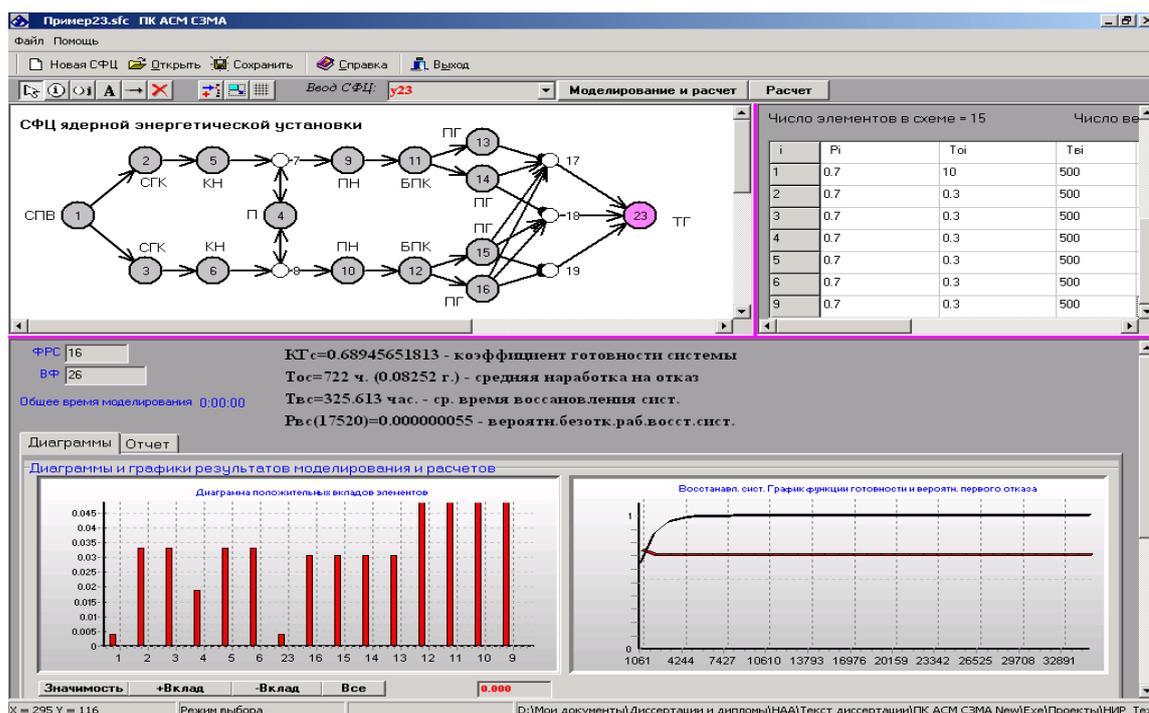


Рис. 6. Вид основного рабочего окна кода АСМ СЗМА

1.5. Анализ существующих методик оценки ущербов радиационных аварий

Общие сведения об ущербе

На современном этапе технического регулирования величины ущерба (а соответственно и риска) от неблагоприятных событий можно оценивать по

двум показателям: экономическим – в рублях (условных единицах) и человеческих потерях (дозовых нагрузках на персонал и население).

Более информативной является информация об экономических последствиях, т.к. она отражает все стороны опасного воздействия вышедшего за барьеры безопасности.

Экономический ущерб – это выраженные в стоимостной (денежной) форме потери для здоровья и жизни людей, для окружающей среды, а также наносимые при этом убытки и затраты на ликвидацию последствий инцидента, вызвавшего повышенное воздействие опасных факторов на персонал и население и загрязнение территорий опасными веществами.

Основные компоненты экономического ущерба, связанного с воздействием опасных веществ на здоровье персонала и населения, объекты техносферы, а также на окружающую природную среду, могут быть разделены на две большие части, связанные со следующими потерями и затратами [37]:

- прямые потери для здоровья;
- прямые экономические потери, связанные с ликвидацией последствий воздействия опасных веществ.

Потери для здоровья (вред) рассчитывают с учётом полученной персоналом и населением дозы (токсодозы, коллективной дозы и т.д.) и утверждённого на федеральном или отраслевом уровне экономического ущерба, определённого на единицу дозы.

Прямые потери, связанные с ликвидацией последствий аварии, определяют прямым счётом соответствующих затрат. Эти потери рассчитывают с учётом нормативной базы, на основе которой произведен расчёт тарифов в действующих ценах на соответствующие виды работ и услуг.

Методики расчета ущерба от радиационных аварий

В настоящее время существует ряд утвержденных отраслевых и межотраслевых руководств и методик, которые могут быть использованы для проведения ряда необходимых оценок экономического ущерба, как в области радиа-

ционного риска, так и неядерного риска природного и техногенного характера [46-49]. Кроме того, отечественными специалистами разработано большое количество методик расчета экономического ущерба от различного рода ЧС техногенного происхождения [50-53].

Одним из наиболее важных и противоречивых вопросов во многих исследованиях по оценке риска и ущерба является экономическая оценка риска для здоровья и жизни человека. Этот вопрос является актуальным, так как во многих случаях цена риска для здоровья и жизни является относительно большой величиной в сравнении со стоимостью других видов риска. Например, исследования последствий, связанных с работой угольных ТЭС в европейских странах [54] и в России [55, 56], показывают, что более 90% из них, которые удается оценить в экономических показателях, относятся к риску для здоровья человека. В настоящее время в Российской Федерации отсутствует официально установленное или, по крайней мере, общепринятое значение «цены статистической жизни».

В работе [57] наиболее полно рассматриваются подходы и методы, применяемые в исследованиях по экономической оценке жизни среднестатистического человека («стоимости среднестатистической жизни» — ССЖ). Также в данной работе сделана попытка определения терминологии применяемой в рассматриваемой области знаний. В качестве синонимов ССЖ предложено использовать употребляемые в литературе словосочетания: «цена жизни среднестатистического человека», «цена риска для жизни» или «стоимость единицы риска для жизни» человека. Эти понятия не следует отождествлять с так называемой «ценой жизни», т.к. цена риска для жизни человека это не стоимость индивидуальной жизни, а именно стоимость риска для жизни. В частности, экономическая величина риска для здоровья и жизни представляет собой либо общественное согласие платить за то, чтобы избежать этот риск, либо согласие на компенсацию за то, чтобы воспринимать (претерпевать) его добровольно. Экономическая величина риска для здоровья и жизни не является стоимостью индивидуальной жизни или ущербом, связанным со смертью конкретного челове-

ка, она является стоимостью риска, которая разделена между всеми членами подверженного воздействию населения. Эта величина основывается на общей подверженности риску, без определения конкретных индивидуумов, на долю которых может выпасть смерть. Поэтому более корректным будет употребление термина цена жизни среднестатистического человека или стоимость среднестатистической жизни (ССЖ).

1.6. Варианты классификации риска аварий, используемые в международной и общероссийской практике

Общие сведения о классификации риска аварий

Поскольку границы оправданного риска трудно рационально обосновать, при решении расчетных или эксплуатационных технических задач, то установленные в ходе анализа риска неблагоприятные события нужно сравнить по частоте и величине с уже ранее имевшими место аналогичными рисками. При этом необходимо учитывать, что на частоту влияют как пространственная, так и временная протяженность рассматриваемых явлений.

В настоящее время не существует общепринятых критериев и категорий для классификации потенциальных ущербов. Однако имеется два основных направления, в рамках которых проводятся сравнения различных рисков: построение «F/N (F/G) — диаграмм» [58-61] и построение матриц риска (детерминированная классификация) [22, 62].

«F/N (F/G) — диаграмма»

В 1967 году Фармером была предложена идея установления случайной зависимости между средним количеством радиоактивной утечки в атмосферу из ядерного реактора и вероятностью (средняя частота в год) наступления такого события [58]. За такими графиками закрепилось название «F/N — диаграмма». Тот же смысл имеет график с горизонтальной осью N — «число несчастных случаев» и вертикальной осью F — «частота событий» (рис. 7).

Подобные графики в случае, если количество данных и диапазон их изменений очень велик, обычно строятся в логарифмическом масштабе. Они могут быть аппроксимированы кривой — графиком непрерывной функции. Таким способом определяется предельная кривая частоты аварий (нежелательных последствий), которая может использоваться, прежде всего, для сравнения опасностей и в качестве исходных данных проектировщиками и специалистами по безопасности. Считается, что кривая отделяет верхнюю область недопустимо большого риска от области приемлемого риска, расположенной ниже и левее кривой. Кривую, таким образом, можно использовать в качестве критерия безопасности, определяющего верхнюю границу допустимой вероятности. Если это условие выполняется, основная цель достигнута. Для рассматриваемых характеристик необходима реальная статистика.

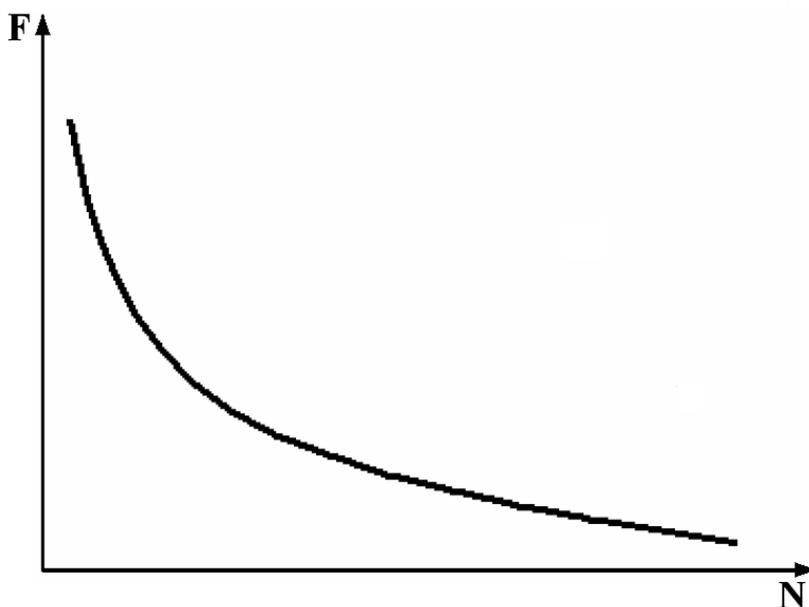


Рис. 7. Общий вид кривой Фармера [58].

Следует также отметить, что в соответствии с приказом МЧС России №506 от 04.11.2004г. введена форма паспорта безопасности опасного объекта, которая подразумевает построение, в том числе, диаграмм социального риска (F/N-диаграмма и F/G-диаграмма) [63]. Типовой паспорт безопасности предназначен для разработки паспортов безопасности на объектах, использующих, производящих, перерабатывающих, хранящих или транспортирующих радиоактивные, пожаровзрывоопасные, опасные химические и биологические веще-

ства, гидротехнических сооружений в случае возможности возникновения чрезвычайных ситуаций.

Матрица риска

Один из способов наглядного отображения совокупности данных об имеющемся риске – это построение матрицы риска с вероятностью возникновения аварийной ситуации на одной оси и тяжестью последствий на другой. На рис. 8 показана типичная матрица риска для оценки события, потенциально влекущего за собой опасность. В матрицу могут быть подставлены значения рассматриваемых параметров, полученных на основе анализа статистических данных или на основе оценок экспертной группы.

Частота	Частые				Высокий риск
	Весьма вероятные				
	Маловероятные				
	Крайне маловероятные	Низкий риск			
		Минимальные	Значительные	Тяжкие	Катастрофические
	Последствия				

Рис. 8. Вид типичной матрицы риска [59].

Существует большое количество различных вариантов построения матриц риска [22, 59, 62]. Однако при использовании различных матриц необходимо доказать правомерность использования данной матрицы в каждом конкретном случае. В основном это относится к критериям определения приемлемого риска. С этой точки зрения наиболее предпочтительно использование либо матриц, концептуальную основу которых составляют требования нормативных документов [62], либо рекомендуемых нормативными документами [22].

Использование простой матрицы риска (табл. 6) позволяет оценить риск опасных событий и выявить самые критические из них. Для рассматриваемых

событий определяются тяжесть последствий и вероятность их возникновения. Соответствующий событию риск определяется как произведение этих двух факторов. При помощи данной матрицы риск определяется визуально, по цвету ячейки на пересечении ряда категории вероятности и колонки категории последствия.

Таблица 6 – Матрица риска [22]

Частота возникновения отказа, 1/год	Тяжесть последствий отказов			
	Катастрофический отказ	Критический отказ	Некритический отказ	Отказ с пренебрежимо малыми последствиями
Частый отказ, > 1	А	А	А	С
Вероятный отказ, $1 \div 10^{-2}$	А	А	В	С
Возможный отказ, $10^{-2} \div 10^{-4}$	А	В	В	С
Редкий отказ, $10^{-4} \div 10^{-6}$	А	В	С	Д
Практически невероятный отказ, < 10^{-6}	В	С	С	Д

Примечания.

катастрофический отказ - приводит к смерти людей, существенному ущербу имуществу, наносит невосполнимый ущерб окружающей среде,

критический/некритический отказ - угрожает/не угрожает жизни людей, приводит(не приводит) к существенному ущербу имуществу, окружающей среде,

отказ с пренебрежимо малыми последствиями - отказ, не относящийся по своим последствиям ни к одной из первых трех категорий.

А – обязателен количественный анализ риска или требуются особые меры обеспечения безопасности;

В – желателен количественный анализ риска или требуется принятие определенных мер безопасности;

С – рекомендуется проведение качественного анализа опасностей или принятие некоторых мер безопасности;

Д – анализ и принятие специальных (дополнительных) мер безопасности не требуется.

Международная шкала ядерных событий

Общее описание шкалы

Отдельно следует остановиться на рассмотрении для целей классификации ядерных и радиационных рисков Международной шкалы ядерных событий, которая была введена в марте 1990 г. Международным агентством по ядерной энергии совместно с Агентством по ядерной энергии организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ ОЭСР) [64]. Её главная цель – облегчить связь и взаимопонимание между специалистами атомной промышленности, средствами массовой информации и общественностью по поводу значимости с точки зрения безопасности событий (происшествий), случающихся на ядерных установках. Шкала была уточнена в 1992 г. в свете накопленного опыта и расширена для применения к любым событиям, связанным с радиоактивными материалами и/или радиацией, в том числе с транспортировкой таких материалов [64]. В 2001 году было выпущено обновленное издание Руководства для пользователей ИНЕС с целью разъяснения вопросов использования ИНЕС и уточнения порядка оценки событий, связанных с транспортировкой и топливным циклом. Однако оказалось, что необходимы дополнительные руководящие материалы, и работа была продолжена, в частности, по связанным с транспортировкой событиям. Во Франции и в Испании была проведена дальнейшая работа по вопросам, касающимся потенциальных и фактических последствий событий, связанных с источниками излучения и транспортировкой. По просьбе государств-членов, участвующих в ИНЕС, МАГАТЭ и Секретариат ОЭСР/АЯЭ координировали подготовку всеобъемлющего руководства, содержащего дополнительные руководящие материалы по оценке любых событий, связанных с источниками излучения и транспортировкой радиоактивных материалов. В последнем издании Руководства для пользователей ИНЕС [65] объединены дополнительные руководящие материалы и разъяснения и даны примеры и комментарии по применению ИНЕС.

В рамках шкалы события классифицируются по семи уровням: в верхних уровнях (4–7) они называются авариями, а в нижних уровнях (1–3) – инциден-

тами (см. рис. 9). События, не существенные с точки зрения безопасности, классифицируются ниже шкалы с нулевым уровнем и называются отклонениями. События, не имеющие отношения к безопасности, не входят в шкалу и считаются вне шкалы. Структура шкалы представлена на рис. 6 с ключевыми словами, которые здесь не претендуют на точность или строгую определённость.

Первая графа шкалы относится к событиям, сопровождающимся выбросом радиоактивности за пределы площадки (АЭС или иного объекта).

Вид аварии	Сфера воздействия		
	Воздействие за пределами площадки	Воздействие на площадке	Ухудшение глубокоэшелонированной защиты
7 Крупная авария	Крупный выброс: крупномасштабные воздействия на здоровье и окружающую среду		
6 Серьёзная авария	Значительный выброс: вероятно, требуется полное осуществление предусмотренных планом контрмер		
5 Авария с риском за пределами площадки	Ограниченный выброс: вероятно, требуется частичное осуществление предусмотренных планом контрмер	Тяжёлое повреждение активной зоны реактора / радиологических барьеров	
4 Авария без значительного риска за пределами площадки	Незначительный выброс облучение населения на уровне величин, сравнимых с установленными пределами	Значительное повреждение активной зоны реактора / радиологических барьеров / смертельное облучение персонала	
3 Серьёзный инцидент	Очень малый выброс: облучение населения на уровне долей установленных пределов	Обширное распространение загрязнения / острые лучевые поражения персонала	Событие близко к аварии – уровней (эшелонов) защиты не осталось
2 Инцидент		Значительное распространение загрязнения / переоблучение персонала	События со значительными нарушениями мер обеспечения безопасности
1 Аномалия			Отклонение от разрешённого режима эксплуатации
0 Отклонение	Несущественно для безопасности		

Рис. 9. Основная структура шкалы INES [64].

Очевидно, поскольку это единственно возможное непосредственное воздействие на население, именно такие выбросы больше всего беспокоят общественность. Поэтому нижняя ступень в данной графе представляет выброс, который приводит к максимальной расчетной дозе облучения критической группы, численно эквивалентной приблизительно десятой доле предельной годовой дозы для населения; это классифицируется уровнем 3. Такая доза обычно составляет около одной десятой среднегодовой дозы от естественного радиационного фона. Высшая ступень в первой графе соответствует крупной ядерной аварии с обширными последствиями для здоровья населения и для окружающей среды.

Во второй графе рассматривается воздействие события в пределах площадки (АЭС или иного объекта). Эта категория событий охватывает диапазон от уровня 2 (значительное радиоактивное загрязнение и/или переоблучение персонала) до уровня 5 (серьезное повреждение активной зоны реактора или радиологических барьеров – барьеров радиационной защиты).

Все ядерные объекты проектируются и эксплуатируются так, чтобы последовательные уровни (эшелоны) защиты предотвращали опасные воздействия на площадке или за её пределами, причём объём предусмотренных мер безопасности, как правило, соразмерен потенциальному риску таких воздействий. Предполагается, что существенные последствия на площадке и за её пределами могут наступить только после нарушения всех этих эшелонов защиты. Такое построение мер безопасности получило название «глубокоэшелонированной защиты». Третья графа шкалы относится к инцидентам, при которых произошло нарушение или ухудшение глубокоэшелонированной защиты. Эта графа охватывает инциденты уровней 1–3.

Событие, воздействие которого затрагивает две или три графы, всегда оценивается по высшему из достигнутых уровней. События, не достигающие нижнего порога воздействия ни в одной из граф, классифицируются ниже шкалы с нулевым уровнем.

Сфера применения шкалы

Шкала применима к любому событию, связанному с радиоактивным материалом и/или радиацией, и к любому событию во время транспортировки радиоактивных материалов. По шкале не классифицируются промышленные аварии или другие события, не связанные с ядерными или радиационными процессами [64]. Они считаются вне шкалы. Например, происшествия с турбиной или генератором могут повлиять на оборудование, связанное с безопасностью; но если отказы или нарушения затрагивают только работоспособность турбины или генератора, их следует классифицировать как события вне шкалы. Аналогично могут быть классифицированы вне шкалы такие события, как пожары, если они не влекут за собой какой-либо вероятной радиологической опасности и не затрагивают средств глубоководной защиты.

Шкала не применяется к тем мерам и средствам контроля, которые предназначены только для обеспечения гарантий в отношении делящихся материалов [64, 66]. Следует также классифицировать вне шкалы публикуемые случаи в балансе делящихся материалов (так называемый «неучтенный материал»). Примером исследования аварии согласно шкале ИНЕС может служить [65].

Матрица риска на основе шкалы ИНЕС

На рис. 10 показана матрица риска, построенная рабочей группой по анализу риска [62] для отдела исследования топлива АО «ГНЦ НИИАР» (ранее ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР»).

Тяжесть последствий	7	A							Немедленное корректирующее действие или остановка технологического объекта.	
	6	B		A						
	5	C	B		A					
	4		C	B		A				
	3			C	B		A			
	2	Пренебрежимо малый риск корректирующих действий не требуется.			C	B		A		
	1					C	B			A
	0						C	B		
		10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0	
Вероятность сценария, год ⁻¹										

Рис. 10. Вид матрицы риска, построенной на основе шкалы ИНЕС [62].

На построенной матрице риска выделены области (категории), где:

А – обязателен детальный анализ риска, требуются оперативные меры безопасности для снижения риска (например, корректирующие действия в течение 3 месяцев);

В – желателен детальный анализ риска, требуются меры безопасности (например, корректирующие действия в течение 12 месяцев);

С – рекомендуется проведение анализа риска и принятие мер безопасности (например, корректирующие действия в течение 24 месяцев).

Область, ограниченная толстой линией, обозначает коридор рисков, в котором необходимо планирование и проведение соответствующих корректирующих действий. Область ниже ограничительной линии представляет собой область пренебрежимо малого риска, где дополнительные меры безопасности не гарантируют снижение риска. Область выше ограничительной линии представляет область недопустимо высоких рисков, где требуется проведение немедленных мер безопасности или остановка работы объекта.

1.7. Обзор работ по вопросам оценивания надежности объектов содержащих опасные вещества

Обзор работ зарубежных ученых

Согласно историческому обзору, представленному в [33], начальный импульс к созданию численных методов оценки надежности был дан авиационной промышленностью. После первой мировой войны увеличилась интенсивность полетов и, соответственно, авиационных катастроф. В связи с чем были выработаны критерии надежности для самолетов и требования к уровню безопасности. Р. Х. Дженнингс приводит хронологию развития теории и техники надежности в 40-70-х годах.

В 40-х годах основные усилия для повышения надежности были сконцентрированы на всестороннем улучшении качества. Улучшенные конструкции, прочные материалы, повышение твердости и качества обработки изнашиваемых поверхностей, совершенные измерительные инструменты и т. д. Также в

40-е годы формируется методология составления и утверждения типовых графиков периодических проверок, карт контроля высокопроизводительного станочного оборудования, выработки уровней оценки и экономически обоснованного подхода к качеству продукции.

В 50-е годы большое значение придавалось безопасности, особенно в аэрокосмической и атомной областях [33]. Этот период отмечен началом использования основных понятий по надежности элементов, таких как интенсивность отказов, ожидаемая долговечность, соответствие конструкции заданным требованиям и прогнозирование качества.

Также в 50-е годы начинает использоваться понятие нормальной формы как аналог известного в литературе термина «дизъюнктивная нормальная форма», в которой литералы состоят как из букв, так и их отрицаний [67]. В работе [68] автор ссылается на работы А.К.Erlanga, Т.С.Fry, Т.С.Molina (1927-1928гг.), где были поставлены задачи вероятностного анализа телефонного трафика. В работе подчеркивается, что эта сложная и многомерная задача может решаться с помощью вероятностных графов [69].

В 60-е годы широкое распространение получил анализ систем с использованием блок-схем в качестве основных моделей для достижения высокой степени надежности и безопасности. С увеличением сложности составленных блок-схем появилась необходимость в другом подходе. В 1961 г. впервые Х. А. Уотсоном из лаборатории фирмы «Белл телефоун» (Bell Telephone) был предложен новый принцип анализа с помощью дерева отказов в качестве программы для оценки надежности системы управления запуском ракет «Минитмэн» [33]. Также в работе [70] приведено одно из первых представлений логической функции в виде дерева (булевы функции рассматриваются как инструмент разработки переключающих (дискретных) цепей для создания цифровых компьютеров, автоматических телефонных станций и цифровых систем контроля [69]). Позднее фирма «Боинг» (Boeing) модифицировала этот принцип с целью моделирования на ЭВМ. В 1965 г. Д. Ф. Хаасль развил методику построения дерева

отказов применительно к широкому кругу различных технических проблем, относящихся к надежности и безопасности [33].

60-е годы также отмечены началом широкого издания книг и журналов в описываемой области. Монография И. Базовски «Надежность: теория и практика» была опубликована издательством «Прентис-холл» (Prentice-Hall) в 1961 г, а к концу десятилетия появились по меньшей мере еще 15 книг. В этот период увидел свет журнал IEEE «Transactions on Reliability» [71, 72, 73], который под руководством д-ра Р. Эванса стал ведущим периодическим изданием в данной области. Видные математики, такие, как З.У. Бирнбаум [74], Р. Барлоу, Ф. Прошан, Д. Ж. Эзари [75] и У. Вейбулл, проложили дорогу разработке статистических методов, относящихся к проблемам надежности и ремонтпригодности [33].

В 70-е годы Комиссией по атомной энергии США была организована интенсивная работа по оценке риска, связанного с эксплуатацией атомных электростанций. Так первым крупным исследованием в области вероятностного анализа безопасности стал доклад проф. Расмуссена WASH-1400, опубликованный в 1975 году в США [76]. В 1979 г. проф. Биргхофер выполнил аналогичный ВАБ в ФРГ [77], а к концу 80-х годов XX в. в ряде зарубежных стран было проведено в различном объеме свыше 100 ВАБ атомных станций различного уровня.

На последующих этапах в 1980-90 гг. были определены интегральные вероятностные показатели безопасности и разработаны вероятностные модели, методики и компьютерные программы для их расчетов [78, 79, 80, 81, 82 и др.].

В работе 1995г. индийских ученых S.Rai, M.Veeraraghavan, K.Trivedi [83], работающих в США, подчеркивается, что среди точных методов в литературе чаще всего обсуждаются метод декомпозиции, факторизации (по-нашему, разрезания), метод IE «включения-выключения» (формула вероятности суммы совместных событий) и метод SDP суммы дизъюнктивных произведений (ортонормализации ДНФ). Подробно обсуждаются способы предварительного упорядочивания термов в логическом выражении (по уменьшению расстояния Хэммин-

га, по лексикографическому признаку, по увеличению мощности термов). Среди методов ортогонализации описан метод инверсии в одну переменную. Дано краткое описание процедур GKG-VT, KDH88 и CAREL, реализующие различные процедуры преобразования ДНФ. Список ссылок составляют 37 публикаций.

Для представления о современных тенденциях логико-вероятностного анализа следует отметить работы J.B.Dugan (Университет шт. Виржиния), которая вместе со своими коллегами разработала одну из первых компьютерных программ Galileo [69], реализующий алгоритмы динамических деревьев неисправностей (DFT) с использованием Марковских моделей. Увеличение вычислительных возможностей методологии статических ДН происходило за счет добавления новых гейтов (операторов) – частично нагруженного резервирования (warm spare –WSP), обеспечение последовательностей событий (SEQ), вероятностной зависимости (PDEP) и приоритетное “И” (PAND).

Другим путем, обеспечивающим решение более широкого круга задач, чем позволяют решать статические ДН, является объединение возможностей DFT, деревьев событий (ET) и бинарных диаграмм решений (BDD). При этом предусматривается совмещение аналитических алгоритмов с алгоритмами имитационного моделирования (Монте-Карло). Модуляризация (декомпозиция) системы или процесса при постановке задачи должна позволить на некоторых уровнях использовать простые марковские модели.

В современных публикациях отмечается, что каждый из этих подходов – комбинаторный, марковский или имитационный – имеет свои недостатки и преимущества. Именно поэтому разработка методов комбинирования в настоящее время идет по пути создания программ по компиляции DFT в динамические байесовые сети.

В обзоре Центра технических исследований Финляндии (VTT) [84], размещенном на сайте компании в 2009 г., приводится список 20 программных продуктов с указанием их основных свойств и интернетовских адресов, где

можно получить более подробную информацию об использовании этих программ для оценивания надежности и риска технических систем.

Из анализа зарубежных источников сделан вывод: применение аппарата деревьев неисправностей является наиболее распространенным способом поиска решения в той или иной модификации (для получения консервативных решений). Также следует отметить, что в рассматриваемой сфере происходит постоянная интеллектуализация.

Обзор работ российских ученых

Первооткрывателем логико-вероятностного анализа (ЛВА) следует признать Платона Сергеевича Порецкого (03.10.1846 – 09.08.1907) – русского математика и логика, который 25 октября 1886 года в своем Сообщении («Решение общей задачи теории вероятностей при помощи математической логики» [85]) придал строгую научную форму идее Буля о применимости математической логики к теории вероятностей. В §1 Сообщения [85] он ставит философский вопрос: возможно ли приложение учения о качественных символах (логических классах) к учению о символах количественных (вероятностях)? И отвечает: возможно. На стр.3 [85] дано первое определение ЛВА...«Отсюда открывается общий путь для определения вероятностей: найти логическую связь между событиями, которого вероятность ищется, и другими событиями, вероятности которых даны, а затем сделать переход от логического равенства между событиями к алгебраическому равенству между их вероятностями».

В 1917 г. советский математик Сергей Натанович Бернштейн (1880-1968) разработал первую (по времени) аксиоматику логики высказываний для аксиоматизации теории вероятностей [4]. Но только с появления в 1962 г. работ Д. А. Поспелова [86], С. В. Макарова [87] и Ю. В. Мерекина [88] можно говорить о начале становления отечественной логико-вероятностной теории и логико-вероятностных методов (ЛВМ) в их современном понимании [4].

В начале 60-х годов при написании «Теоретических основ проектирования электроэнергетических систем кораблей» [89], условия работоспособности

электроэнергетических систем кораблей Игорь Алексеевич Рябинин стал записывать с помощью алгебры логики (Булевой алгебры), а вероятность уязвимости системы вычислять по формуле вероятности логической суммы совместных событий через вероятности логических произведений элементарных событий. А в 1963 году в журнале «Судостроение» №7 была опубликована первая статья И.А. Рябина «О количественной оценке надежности судовых электроэнергетических систем» [90].

В прямой постановке определение ЛВМ в 1967 г. было дано в монографии [91] следующим образом: «Метод расчета надежности судовых электроэнергетических систем, при котором структура СЭС описывается средствами математической логики, а количественная оценка ее надежности производится с помощью теории вероятностей, будем называть логико-вероятностным методом».

Это определение включает в себя и многие другие аналогичные методы (например, вероятностную оценку дерева неисправностей, метод анализа дерева отказов [33] и др.)» в которых рассматривались только структурно-простые системы. Однако дальнейшее развитие ЛВМ в трудах в основном отечественных ученых [92] позволило решить ряд проблем» связанных как с аналитическими методами исследования надежности структурно-сложных систем, так и с автоматизированным логико-вероятностным моделированием ССС.

Разработка и применение вероятностных методов для выполнения анализа надежности опасных производственных объектов по отношению к выработке энергии и для проведения вероятностного анализа безопасности в отечественной практике производится с конца 60-х — начала 70-х годов XX-го столетия. Большой вклад в развитие этого нового научного направления внесли работы, которые выполнялись в НИКИЭТ под руководством А. И. Клемина [93, 94, 95, 96, 97]. Следует отметить, что эти работы были в основном посвящены разработке теоретических основ для расчетов показателей надежности атомных станций по отношению к выработке энергии и показателей надежности отдельных систем, оборудования и элементов реакторных установок.

В 1978-81 гг. НИКИЭТ совместно с ВТИ им. Ф.Э. Дзержинского, ОКБ «Машиностроения», ОКБ «Гидропресс» и другими организациями были разработаны отраслевые руководящие технические материалы — РТМ 95490-78 «Методика расчета структурной надежности АЭС и ее систем на этапе проектирования» и РТМ 95823-81 «Надежность оборудования реакторных установок АЭС. Методика расчета» [14].

В составе этих РТМ были подготовлены разделы по методологии анализа надежности систем безопасности (СБ). Основу этой методологии составляют математические методы теории надежности [98, 99], логические соотношения булевой алгебры [100,91], методика деревьев отказов [101].

Методология анализа надежности включает определение показателей надежности, наиболее полно характеризующих это свойство систем безопасности, и моделей их расчета, в которых учитываются все специфические особенности таких систем, включая структурные особенности (мно-гоканальность и мажоритарность), многообразие режимов использования (режимы ожидания, режимы выполнения заданных функций после возникновения требований), многообразии видов отказов систем в целом (отказы функционирования, ложные срабатывания) и отказов их элементов (скрытые и явные отказы в режиме ожидания, отказы в режиме работы), влияние технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) [14].

Методология анализа надежности систем безопасности была использована для проведения расчетов показателей надежности технологических и управляющих систем безопасности, результаты которых были использованы для оптимизации структур управляющих систем безопасности для АЭС с реакторами ВВЭР-1000 (В-320), ВВЭР-440 (В-213) и РБМК-1000 и для разработки стратегии технического обслуживания систем безопасности для АЭС с реакторами В-320 и В-213 [102, 103].

На последующих этапах в 1980-90 гг. была расширена область применения методик оценки безопасности на другие отрасли экономики, определены интегральные вероятностные показатели безопасности (вероятности возникно-

вения аварий с превышением установленных пределов эксплуатации опасных производственных объектов) и разработаны вероятностные модели, методики и компьютерные программы для их расчетов [4, 7, 11, 30-34].

На основе анализа 1985–1990 годов, выполнения проблемного плана фундаментальных и прикладных исследований по различным аспектам безопасности и с учетом складывающихся неблагоприятных тенденций нарастания угроз в военной, социально-экономической и природно-техногенной сферах Академия наук подготовила и после соответствующего согласования совместно с Комиссией по чрезвычайным ситуациям и Госкомитетом по науке и технике представила на утверждение правительства Государственную научно-техническую программу «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф» (ГНТП «Безопасность») [12].

После чернобыльской катастрофы в Академии наук была создана и продолжает функционировать Рабочая группа при президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности, координирующая постановку на государственном и академическом уровнях соответствующих научных разработок.

В рамках совместных усилий РАН, Минпромнауки и МЧС России в 1994 году были согласованы Единые принципы разработки и реализации научно-технической политики в области техногенной безопасности.

ГНТП «Безопасность», разрабатываемая РАН, Минпромнауки, МЧС, Минобороны, Минатома России и органов Государственного надзора, предусматривала три основных этапа ее реализации [12]:

– 1991–1995 годы: разработка основ научной политики государства в области управления, регулирования и обеспечения безопасности на базе формирования общих теорий и закономерностей природно-техногенных катастроф, базовых правовых, экономических и нормативно-технических руководящих принципов, законодательных актов, государственных норм и стандартов;

– 1995–2000 годы: разработка трехуровневой системы обеспечения безопасности с учетом концепции устойчивого развития и результатов работ первого этапа:

– фундаментальные и прикладные исследования с использованием базовых традиционных и новых критериев, методов и средств обеспечения безопасности в природно-техногенной сфере;

– прикладные междисциплинарные, межотраслевые, межрегиональные научно-технические разработки по общим проблемам безопасности и защиты от аварий и катастроф природно-техногенного характера;

– отраслевые и объектовые научно-технические разработки как основа обеспечения и повышения безопасности объектов гражданского и оборонного назначения, территорий, производств, технологий и материалов, создающих потенциальные угрозы и риски высокого уровня на базе результатов системных разработок первого и второго уровней;

– 2001–2010 годы: разработка и реализация перехода России к созданию и функционированию объектов и территорий с использованием единой государственной и международной системы законов, норм, правил и стандартов в области обеспечения и повышения безопасности для снижения риска катастроф глобального планетарного, национального, регионального, местного и объектового характера.

В разработках общей концепции и реализации программы был задействован коллектив основных исполнителей в количестве около 2500 ведущих ученых и специалистов из 450 научных, промышленных и надзорных организаций. От РАН с 1991 года в реализации программы принимало участие около 450 специалистов из 14 отделений и 74 институтов РАН [12].

В 1997 году была разработана Федеральная целевая программа «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2005 года». Реализация основных целей программы позволила создать концепцию обеспечения безопасности при возникновении чрезвычайных ситуаций и пожаров, повысить безо-

пасность населения и защищенность критически важных объектов от угроз природного и техногенного характера, а также от опасностей, обусловленных ведением боевых действий и террористическими акциями. Основным же итогом программы стало развитие методологических основ в области анализа риска негативных событий в различных отраслях экономики России создать [7, 8, 10, 11, 31, 41, 42, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113].

1.8. Выводы

Структуризация законодательной и нормативно-правовой базы, определяющей требования к процедуре анализа риска аварий при проектировании опасных производственных объектов, позволяет сделать вывод, что в настоящее время на предприятиях действует практически единый механизм регулирования отношений в области безопасности, который, к сожалению, не всегда основывается на умении оценивать риск и определять достаточность принятых мер безопасности на основе сопоставления имеющегося риска с приемлемым уровнем риска. Это также подтверждается указанными в п. 1.2 замечаниями об отсутствии утвержденной единой концептуальной структуры процедуры анализа риска опасных производственных объектов и технологий, что является главным недостатком существующей в Российской Федерации нормативно-методической документации в данной области.

Однако, как уже было отмечено выше, каждый вид проектируемого опасного производственного объекта имеет свою специфику. Поэтому в данном исследовании будут рассматриваться проектные процедуры, выполняемые при проектировании ТС содержащих опасные вещества.

В связи с выше сказанным первым основным направлением исследования является разработка единой схемы проведения проектных процедур в области анализа риска возможных аварий в проектируемых ТС содержащих опасные вещества. На основе, которой будет создана концептуальная схема компонента комплекса средств автоматизированного проектирования отвечающего за исследование безопасности проектируемого объекта содержащего опасные вещества.

После создания указанной выше схемы оптимальным вариантом для дальнейших исследований является разработка алгоритмов анализа проектных данных с точки зрения установления перечня исходной информации для выполнения процедуры анализа риска аварий исходя из принятых проектных решений. Следует отметить, что в проведенных к настоящему времени исследованиях рассмотрению подвергаются лишь отдельные этапы проектной процедуры анализа риска аварий [114]. Данной обстоятельство не позволяет корректно осуществлять переход результатов от одного этапа к другому, что приводит к дополнительному ухудшению точности и увеличению неопределенности результатов анализа.

Относительно созданных на данный момент аналогов, рассмотренных выше (программные комплексы Risk Spectrum, SAPHIRE, РИСК, CRISS, АСМ СЗМА «АРБИТР» и БАРС) и позволяющих автоматизировать обработку сценариев проектных аварий. Основными недостатками предлагаемых продуктов являются:

- 1) отсутствие полного цикла анализа сценариев проектных аварий – все вышеуказанные программные комплексы позволяют оценить вероятность аварий, но не позволяют оценить стоимостной ущерб от них (за исключением последней версии программы «CRISS 5.1» [42]), а также классифицировать проектные аварии;
- 2) оператором программных продуктов могут быть только специалисты в области анализа риска аварий, которые не всегда обладают знаниями по применяемым технологиям и используемому оборудованию на объекте проектирования.

В рамках данной работы для формирования алгоритмов выполнения проектных процедур в области анализа риска аварий в целом должны быть выполнены исследования по следующим направлениям:

- а)* разработка алгоритма формирования таблиц безопасности, учитывающего характеристики проектируемого объекта (применяемое оборудование, технологические процессы и др.), а также требова-

ний (критериев безопасности), указанных в задании на проектирование, в области безопасности проектируемых ОПО содержащих опасные вещества;

- б) исследование и разработка алгоритма построения логико-вероятностной модели описания аварий в ТС содержащих опасные вещества, характеризующей возможные опасные события на рассматриваемом объекте с точки зрения вероятности их возникновения, путей протекания и тяжести последствий;
- в) разработка алгоритма формирования графической модели безопасности проектируемого объекта на основе построения «Дерева отказов», учитывающей все возможные сценарии реализации опасностей;
- г) разработка компонента комплекса средств автоматизированного проектирования отвечающего за исследование безопасности проектируемого объекта содержащего опасные вещества и обоснование принятых проектных решений.

Следует отметить, что для выполнения пункта г) требуется проведение дополнительных исследований по разработке методики количественной оценки экономического ущерба от аварий в ТС содержащих опасные вещества.

После выполнения всех указанных выше исследований необходимо провести внедрение и апробирование разработанного комплекса средств автоматизированного проектирования в проектной деятельности.

Глава 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА РИСКА АВАРИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ СОДЕРЖАЩИХ ОПАСНЫЕ ВЕЩЕСТВА

2.1. Единая схема проведения проектных процедур в области анализа риска возможных аварий в проектируемых ТС содержащих опасные вещества

Как уже было сказано в разделе 1.2 выделяют 2 этапа проектирования (см. рисунки 1 и 2), на каждом из которых выполняется определенный перечень проектных работ.

Проектные процедуры, связанные с анализом риска возможных аварий в проектируемых ТС содержащих опасные вещества, выполняются на следующих этапах (проектные процедуры, связанные с анализом риска возможных аварий в проектируемых ТС выделены желтым на рисунках 1 и 2):

1) на предпроектном этапе:

- на этапе «сбор исходных данных и изучение архивных материалов» проводится определение возможности использования различных технологий, а также критериев безопасности, предъявляемых к ним;

- на этапе «разработка и утверждение задания на проектирование с заказчиком» утверждаются критерии безопасности, которым должен соответствовать проектируемый объект, а также характеристики применяемого оборудования и технологии (в частности ремонтпригодность, допустимая вероятность отказа и др.);

- на этапе выполнения инженерных изысканий формируется перечень природных воздействий, которые необходимо учитывать при проектировании объекта (в том числе при рассмотрении негативных событий природного характера, которые могут привести к аварии на проектируемом объекте).

2) на проектном этапе:

- на этапе «разработка проекта» разрабатываются соответствующие разделы, описанные в разделе 1.2 (декларация промышленной безопасности опасных производственных объектов, перечень мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера для объектов использования атомной энергии (в том числе ядерных установок, пунктов хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ), опасных производственных объектов, определяемых таковыми в соответствии с законодательством Российской Федерации, особо опасных,

технически сложных, уникальных объектов, объектов обороны и безопасности), с использованием процедур анализа риска;

- на этапе «рассмотрение проекта на совете проектной организации» проводится сопоставление альтернативных проектных решений, с обоснованием их безопасности;

- на этапе «экспертиза проекта» проводится (при необходимости) детализация предусмотренных мер безопасности, а также их достаточность и экономическая целесообразность.

Следует отметить, в настоящее время для оценки риска аварий в ТС содержащих опасные вещества используются экспертные оценки, которые опираются в большинстве случаев на субъективную точку зрения специалистов проводящих анализ и в дополнение ко всему не имеют единого алгоритма. Данное обстоятельство определяет задачу разработки специальной методологии системного анализа риска аварий в ТС содержащих опасные вещества как наиболее актуальную.

На основе проведенного анализа методов и средств применяемых в проектировании для решения задач выявления и классификации, имеющихся в ТС, опасностей была разработана единая схема проведения проектных процедур в области анализа риска возможных аварий на проектируемых объектах содержащих опасные вещества (см. рис. 11).

Она имеет вид итерационной петли, на входе которой используются исходная информация об объекте и выбранные в качестве целей для проектирования (анализа) критерии безопасности (требования в области обеспечения безопасности проектируемого объекта в соответствии с заданием на проектирование), на выходе – заключение о возможности выполнения выбранных критериев. Анализ производится неоднократно (методом последовательного приближения) с разной степенью детализации в зависимости от содержания работ на соответствующем этапе проектирования объекта и уровня проработки проектной документации (предпроектное исследование в ходе подготовки отчета – предложения на создание ТС, технико-экономическое обоснование, проект, эксплуатация ТС в штатном режиме, снятие с эксплуатации).

Как видно из рисунка 8, анализ риска возможных аварий предполагает выполнение следующих проектных процедур:

- *выбор критериев безопасности* на основе какой-либо из принятых концепций [115-117] (концепции приемлемого риска или исходя из социально-

экономических соображений, основанных на соотношении риска и выгоды, и т.п.). Они устанавливают допустимые (приемлемые) уровни воздействий опасных факторов предусмотренных проектом на персонал, население, окружающую среду и уровни вмешательства при проектных авариях различного рода. В области проектирования ТС содержащих опасные вещества в настоящий момент действует специализированная законодательная и нормативно-правовая база, что в свою очередь делает отличным данный этап с точки зрения анализа аварий на подобных объектах;



Рис. 11. Единая схема проведения проектных процедур в области анализа риска возможных аварий в проектируемых ТС содержащих опасные вещества.

– сбор исходной информации об объекте и применяемых технологиях. Целью работы на этом этапе является выявление угроз воздействия на персонал объекта и населения, а также выхода опасных веществ за пределы защитных барьеров при проектных и запроектных авариях. Одним из важнейших результатов такого анализа является выявление опасных событий, последовательность которых способна привести к аварии. В соответствии с требованиями нормативных документов [118] для ТС обязательно рассмотрение следующих исходных событий:

- внешние воздействия техногенного происхождения (работа соседних предприятий и т.д.);
- внешние воздействия природного происхождения (ураганы, смерчи, землетрясения и т.д.);
- отказы систем и элементов объекта (неисправность оборудования и т.п.);
- ошибки персонала (несоблюдение инструкций и т.д.).

– *описание сценариев аварий и оценка вероятностей их развития.* Этап начинается с анализа проектируемых систем безопасности, их надежности, эффективности функционирования при различных условиях. Здесь необходимо весьма подробное описание проектируемого объекта, выполняемых на нем работ, систем безопасности. В настоящее время имеется большое количество программ по выполнению вероятностного анализа безопасности, использование которых позволяет автоматизировать данный этап анализа [30, 31, 35-42].

– *количественная оценка последствий опасных событий.* Целью работы на этом этапе является оценка последствий возможных аварий, а также выделение тех аварий, для возникновения которых интенсивность воздействий при возникновении опасных событий (реализации угроз) достаточна. Здесь используются детерминистские методики оценок, экспериментальные данные, характеризующие источники опасности, эффективность проектных решений с точки зрения достаточности барьеров безопасности, интенсивность воздействий различных факторов на источники опасности и системы безопасности.

– *классификация риска опасных событий.* На данном этапе используются методы классификации, описанные в разделе 1.6 настоящего исследования.

– *управление параметрами риска для достижения требуемого уровня безопасности.* На данном этапе выявляются проектные решения, изменение которых позволит достичь требований безопасности установленных в задании на проектирование и/или в нормативных документах, вырабатываются требования к системам безопасности, сопоставляются альтернативные проектные решения. Если достижение цели при приемлемых затратах невозможно, производится изменение целей (критериев безопасности в пределах нормативных требований) или корректировка проекта по выработанным рекомендациям. Анализ повторяется до тех пор, пока не будет найдено приемлемое решение проблем безопасности или будет принято решение об отказе от создания объекта. На данном этапе могут быть применены следующие методы оценки эффективности экономических механизмов регулирования риска с использованием результатов анализа [11]:

- *метод «затраты-риск»*: в процессе анализа сравнивается математическое ожидание ущерба при имеющемся уровне риска и при остаточном риске после реализации мер, направленных на уменьшение риска. Разница этих величин ущерба сопоставляется с затратами на уменьшение риска (с поправкой на потери от принятия ошибочных решений). Рассматриваются несколько совокупностей мер, обеспечивающих снижение риска до приемлемого уровня.
- *метод «затраты-выгоды»*: этот метод является разновидностью предыдущего метода, но здесь производится сопоставление возможного ущерба от аварий с получаемыми выгодами от эксплуатации объекта. Оптимизируется разница между выгодами и затратами, связанными с уменьшением риска (его требуемый уровень не определен и приемлемое социально-экономическое значение как раз и выявляется в ходе анализа).
- *метод «оценки эффективности затрат»*: этот метод также является разновидностью первого метода, но здесь производится оптимизация риска от аварий по эффективности затрат на снижение риска от эксплуатации объекта.
- *метод «риск-риск» (пример использования)*: оценивается произведение уровня риска для всех ОПО в данной местности и определяется уровень затрат для интересующего нас объекта, соответствующий минимальному значению произведения. Этот уровень считается оптимальным при реализации рекомендованных мер на снижение риска для анализируемого объекта.

2.2. Определяющие отношения, формулы и параметры риска

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

Описанная в предыдущем разделе единая схема легла в основу концептуальной схемы компонента комплекса средств автоматизированного проектирования отвечающего за исследование безопасности проектируемого объекта содержащего опасные вещества (см. рис. 12), как основы системы анализа и предупреждения опасных событий [119]. Ниже детально описан, применяемый авторами на каждом из этапов схемы, математический аппарат.

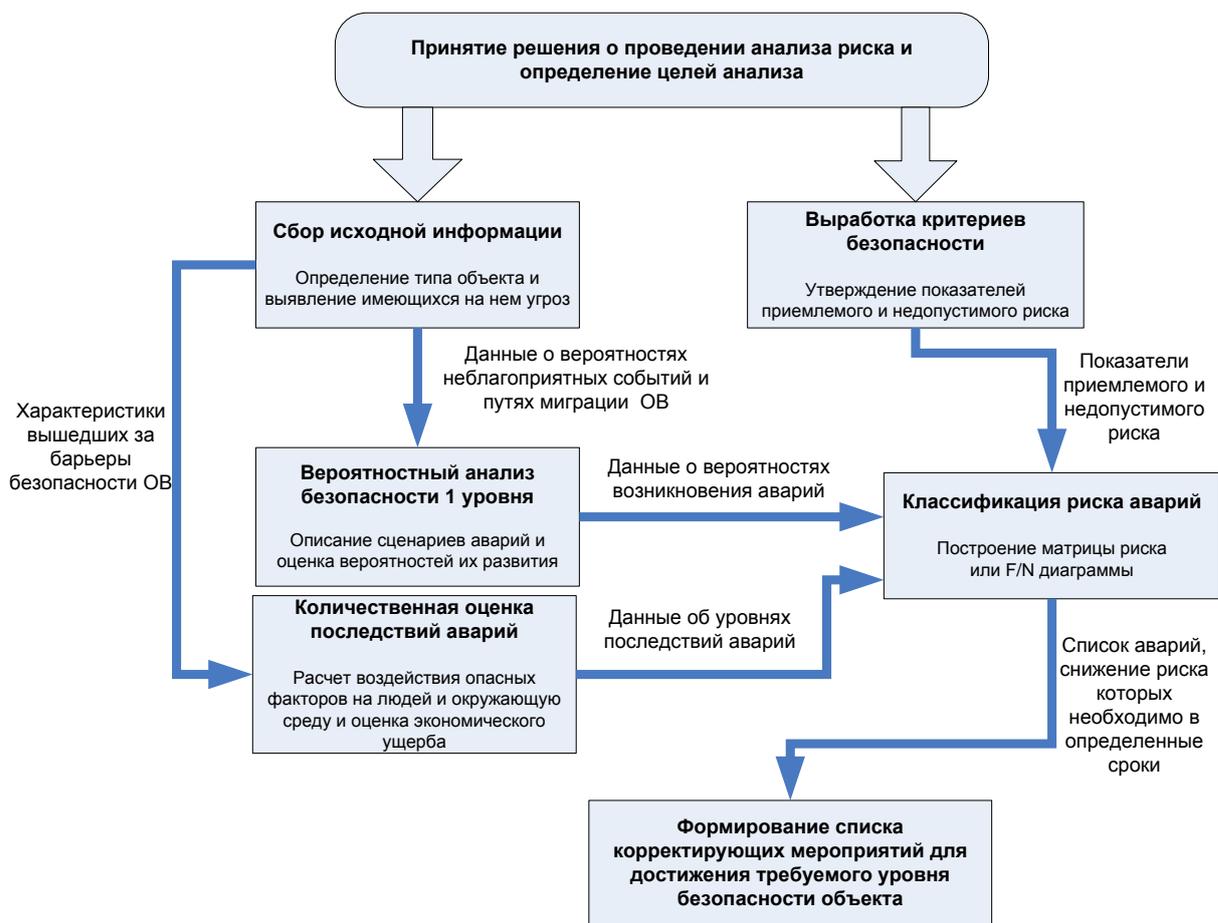


Рис. 12. Концептуальная схема компонента комплекса средств автоматизированного проектирования отвечающего за исследование безопасности проектируемого объекта содержащего опасные вещества.

После принятия решения о проведении анализа риска опасного объекта и определения его цели, проводится выработка критериев (требований безопасности в соответствии с заданием на проектирование), 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.

Рассмотрим в качестве примера задание величин приемлемого и недопустимого риска аварий при проектировании радиационно опасного объекта (как одного из видов ТС содержащих опасные вещества). Так границы приемлемого риска аварий однозначно определяется путем задания следующих величин:

$$R_{accept} = \{DL_{pers}, MaxA, DL_{pop}, P_{accept}^{pers}, P_{accept}^{pop}\}, \quad (2.1)$$

где DL_{pers} – дозовый предел при облучении персонала; DL_{pop} – дозовый предел при облучении населения; $MaxA$ – максимальная допустимая активность выброса радиоактивных веществ (в пересчете на ^{131}I) в окружающую среду из РОО, 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 аварий однозначно определяется путем задания следующих величин:

$$R_{inadmissible} = \{ADose_{pers}, ADose_{pop}, P_{negligible}, P_{nat}^{pop}\}, \quad (2.2)$$

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 проектных процедур в блоке «Сбор исходной информации», сначала определяется тип объекта и распространяющиеся на него требования нормативных документов, которые рекомендуют для рассмотрения с одной стороны общий перечень опасных событий $\{OS\}_x^{norm}$ (где $x = \overline{1, z}$, а z – количество опасных событий рекомендованных для анализа на объекте рассматриваемого типа), а с другой выделяют для определения вероятности отказа элементы технической системы.

После чего проводится выявление проектных угроз имеющих на объекте, реализация которых способна оказать негативное воздействие на персонал, население и/или окружающую среду, и элементов технических систем, содержащих (при нормальной эксплуатации или в случае аварий) опасные вещества (ОВ), хранящиеся или используемые на рассматриваемом объекте (далее ЭТСС). Следующим этапом является определение границ систем, содержащих потенциальную опасность, то есть должны быть определены те элементы (единицы оборудования), которые согласно проекту связаны с ЭТСС и изменение состояния которых способно привести к изменению объекта размещения ОВ (далее ЭТСИ).

Результатом данного этапа анализа является множество элементов ТС (оборудование, помещения, здание), входящих в состав проектируемого объекта $\{Eq\}$:

$$Eq = \{ETSS, ETSI\}, \quad (2.4)$$

где $ETSS$ – множество элементов технических систем, содержащих (при нор-

мальной эксплуатации или в случае аварий) ОВ, 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).

$$ETSS_i = \langle NETSS, A_r, M_r, AC, SN \rangle_i, i = \overline{1, l} \quad (2.5)$$

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

$$ETSI_j = \langle NETSI, Func \rangle_j \times NETSS_i, j = \overline{1, m} \quad (2.6)$$

где m – количество ЭТСИ, которые связаны с i -ым 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 заложенных проектом опасных событий, реализация которых возможна в рассматриваемой ТС:

$$OS^{Eq} = \{OS_{outN}, OS_{outT}, OS_{inF}, OS_{erP}\}^{Eq}, \text{ причем } \{OS_x\}^{norm} \subset OS^{Eq}, \quad (2.7)$$

где OS_{outN} – опасные события, вызванные внешними природными воздействиями; OS_{outT} – опасные события, вызванные внешними техногенными воздействиями; OS_{inF} – опасные события, вызванные внутренними отказами систем и элементов; OS_{erP} – опасные события, вызванные ошибками персонала.

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

$$Eq^u \times OS^{Eq} \times P^{Eq} \rightarrow ETSS^{u+1} \times Dose_{pers}^{Eq}, \quad (2.8)$$

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

дом ОБ за пределы ЭТСС уровня u и локализацией их в ЭТСС уровня $u+1$.

Причем:

- $P^{Eq} = \{P_{outN}, P_{outT}, P_{inF}, P_{erP}\}^{Eq}$, где P_{outN} – вероятности опасных событий, вызванных внешними природными воздействиями; P_{outT} – вероятности опасных событий, вызванных внешними техногенными воздействиями; P_{inF} – вероятности опасных событий, вызванных внутренними отказами систем и элементов; P_{erP} – вероятности опасных событий, вызванных ошибками персонала;
- $ETSS^{u+1} = \{NETSS, A_r^{exit}, M_r^{exit}, AC^{exit}, SN^{exit}\}^{u+1}$, где $NETSS$ – наименование ЭТСС уровня $u+1$; A_r^{exit} – активность вышедших ОБ (актуально для РОО); M_r^{exit} – количество вышедших ОБ; AC^{exit} – агрегатное состояние вышедших ОБ; SN^{exit} – набор вышедших компонентов ОБ.

Далее для выявленных ЭТСС следующего уровня (локализовавших вышедшие ОБ), определяются связанные с ними ЭТСИ и анализ повторяется по формуле 2.8. 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. $A_r^{exit} < MSA$ и $A_r^{exit} / M_r^{exit} < MSSA$, где MSA – минимально значимая активность (актуально для РОО), $MSSA$ – минимально значимая удельная активность (актуально для РОО);

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 проектируемого объекта:

$$F_p = \langle OS^{Eq}, P^{Eq}, Dose_{pers}^{Eq} \rangle_p, p = \overline{1, q} \quad (2.9)$$

где q – количество всевозможных проектных отказов оборудования и конструкций ТС.

Информация, характеризующая множество возможных проектных и запроектных отказов оборудования и конструкций ТС, передается в блок «Вероятностный анализ безопасности 1 уровня». На данном этапе выполняются проектные процедуры, которые позволяют определить связи событий отказов ЭТСС и ЭТСИ 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 ЭТСИ приводящих к итоговому событию) для исходного проекта ТС может быть записана следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{funcScens} : \{OS^{Eq}, P^{Eq}, Dose_{pers}^{Eq}\} = F &\rightarrow Scens_j \\ Scens_j &= \{OS^{Scens_j}, P^{Scens_j}, Dose_{pers}^{Scens_j}\} \end{aligned}$$

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:

$$\{OS^j, \wedge, \vee\} \rightarrow OS^{Scens_j} \text{ (логическая модель описания } j\text{-ого сценария аварии}$$

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

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

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

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

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 определяем количество опасных событий в каждой выявленной последовательности OS^{Scens_j} за исключением исходных событий, которые характеризуют первичные отказы элементов ОПО, 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 создаем матрицу:

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

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 заполняем единицами, а нижеугольную матрица заполняем нулями, т.к. в данном случае мы имеем дело с ориентированным графом;

- заполняем элементы верхнетреугольной 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} , а 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 ОВ, является оборудованием либо конструкцией первоначального размещения ОВ согласно проектных решений, то значение OS_t записывается в ячейку МНС $(1(N-1))$, т.е. $OS_j^{M1(N-1)} = OS_t$. Следует отметить, что если в перечне

$\{OS_q\}_{q=1}^Q$ имеется с 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:

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

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

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

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:

$$funcPMDA: PDMA = OS_{1(p+1)}^{M^{full}}. \quad (2.10)$$

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:

$$funcProbability: PDMA \rightarrow \left\{ P^{Scens_j}, Dose_{pers}^{Scens_j} \right\}. \quad (2.11)$$

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.:

$$Eq_y^u \times OS_i^{Eq} \Big|_{Eq_p^u \times OS_j^{Eq}} \Rightarrow ETSS_v^{u+1}, \quad \text{где } y, p = \overline{1, o} \quad (o - \text{количество ЭТСС и}$$

ЭТСИ на рассматриваемом объекте), а $v = \overline{1, l}$ (l – количество ЭТСС на рассмат-

риваемом объекте). Причем связь остальных параметров F для данного случая определяются следующим образом:

– для вероятности событий: $P_i^{Eq} + P_j^{Eq} - P_i^{Eq} \cdot P_j^{Eq}$, где $i, j = \overline{1, q}$ (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: операция 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.:

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

Связь остальных параметров F для данного случая определяются 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 2.10 и 2.11 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». «Дерево отказов» строится следующим образом: рассматриваемое главное событие, характеризующее конечное состояние системы после ряда отказов, изображается на вершине дерева. Задав итоговое событие, 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».

Следует отметить, что при построении «дерева отказов» проводится следующая проверка:

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

10^{-7} 1/год (Величина минимально значимой вероятности проявления опасности на ОПО).

Далее в рамках блока «Вероятностный анализ безопасности 1 уровня» проводится дополнение проекта объекта запроектированными системами безопасности, с указанием их надежности и эффективности функционирования при различных условиях:

$$Eq \times SB = \{ESTSS, ESTSI, SB\}, \quad (2.12)$$

где SB – множество запроектированных на объекте систем безопасности. Причем:

$$SB_k = \langle NSB, ParamSB \rangle_k \times N(ESTSS, ESTSI), (k = \overline{1, n}) \quad (2.13)$$

где n – количество элементов систем безопасности, которые связаны согласно проектным решениям с конкретным ЭТСС или ЭТСИ; NSB – наименование используемой системы безопасности; $ParamSB$ – параметры системы безопасности, определяющие выполняемые функции и вероятности отказа вследствие внутренних причин; $N(ESTSS, ESTSI)$ – наименование ЭТСС или ЭТСИ, контроль параметров которого осуществляют n СБ.

Причем при дополнении проекта объекта СБ изначально для каждого опасного события, описанного для ЭТСС и ЭТСИ, определяется 1 из 4 видов построения СБ, позволяющей его зафиксировать с целью дальнейшего устранения или локализации:

- 1) СБ отсутствует, т.е. для выявления данного вида опасного события отсутствует СБ способная его зафиксировать.
- 2) СБ состоит из одного элемента, т.е. данное опасное событие фиксируется только одним элементом (например, оборудование контролирующее один показатель (давление, температура и др.) или инструкциями действующими на объекте предусмотрен периодический контроль со стороны персонала);
- 3) СБ состоит из двух элементов, т.е. данное опасное событие фиксируется двумя различными элементами оборудования. Дополнительно для данного случая вводится третий элемент СБ, связанный с правильностью интерпретации персоналом объекта отказа одного элемента и не отказа другого элемента СБ;
- 4) СБ состоит из трёх элементов (типичная ситуация для ОПО), т.е. дан-

ное опасное событие фиксируется тремя различными элементами оборудования. В данном случае достаточно отказа двух из трех элементов СБ, чтобы признать отказ всей СБ.

После выбора типа построения СБ описываются проектные опасные события, связанные с отказом элементов СБ с помощью следующей формулы:

$$SB^u \times OS^{SB} \times P^{SB} \rightarrow ESTSS^{u+1} \times Dose_{pers}^{Eq}, \quad (2.14)$$

где SB^u – характеризует элемент СБ, фиксирующий наступление опасного события, связанного с отказом оборудования либо конструкции проектируемого объекта уровня u (согласно спроектированной на объекте схеме глубоководной защиты), с выходом ОВ за пределы ЭТСС; OS^{SB} – множество опасных событий, связанных с отказом элементов СБ; P^{SB} – множество вероятностей отказа элементов СБ. Следует отметить, что для расчета вероятности отказа СБ вследствие внутренних причин авторами используются методы теории вероятностей и математической статистики (см. раздел 2.3).

Таким образом преобразование множества возможных проектных отказов оборудования и конструкций ТС с учетом возможных отказов элементов СБ, используемых на рассматриваемом ОПО, происходит следующим образом:

$$F \rightarrow F^{result} = \{OS, P^{OS}, Dose_{pers}^{Eq}\}, \quad (2.15)$$

где $OS = OS^{Eq} + OS^{SB}$ – множество опасных событий, связанных с отказами оборудования, конструкций и элементов СБ объекта; $P^{OS} = P^{Eq} + P^{SB}$ – множество вероятностей проявления опасных событий, связанных с отказами оборудования, конструкций и элементов СБ объекта.

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

Для 1-ого вида построения СБ:

Так как отсутствует событие связи также не устанавливаются.

Для 2-ого вида построения СБ:

Используется операция дизъюнкции: $OS^{Eq} \wedge OS^{SB}$, т.е. данным способом описывается событие, связанное с отказом оборудования или конструкций на рассматриваемом объекте, с учетом отсутствия возможности его выявления с помощью СБ (В данном случае предполагается что рассматриваемые опасные события являются совместными и независимыми).

Связь остальных параметров F для данного случая определяется следующим образом:

– для вероятности событий: $P^{Eq} \cdot P^{SB}$,

– доза облучения, полученная персоналом при реализации опасного события остаётся неизменной: $Dose_{pers}^{Eq}$.

Для 3-его вида построения СБ:

Итоговое событие, связанное с отказом всей системы безопасности, связано с отказом оборудования или конструкций на рассматриваемой ТС аналогично 2-ому варианту построения СБ (остальные параметры F определяются также аналогично). Различие состоит в определении OS^{SB} и P^{SB} , так как они определяются исходя из предположения, что система безопасности состоит из 3-ёх элементов (как описано выше), и отказ всей СБ происходит в случае отказа 2 из 3 её элементов. Соответственно связь параметров F для данного случая определяются следующим образом:

– для опасных событий:

$$OS^{SB} = (OS^{SB_1} \cap OS^{SB_2}) \cup (OS^{SB_1} \cap OS_{pers}^{SB_3}) \cup (OS^{SB_2} \cap OS_{pers}^{SB_3}),$$

где OS^{SB_1} , OS^{SB_2} – опасные события связанные с отказом 1-ого и 2-ого элементов СБ, соответственно; $OS_{pers}^{SB_3}$ – опасное событие связанное с неправильной интерпретацией персоналом объекта отказа одного элемента и не отказа другого элемента СБ.

– для вероятности событий (В данном случае предполагается что рассматриваемые опасные события являются совместными и независимыми):

$$P^{SB} = (P^{SB_1} \cdot P^{SB_2}) + (P^{SB_1} \cdot P_{pers}^{SB_3}) + (P^{SB_2} \cdot P_{pers}^{SB_3}),$$

где P^{SB_1} , P^{SB_2} – вероятности отказов 1-ого и 2-ого элементов СБ, соответственно; $P_{pers}^{SB_3}$ – вероятность неправильной интерпретации персоналом объекта отказа одного элемента и не отказа другого элемента СБ.

Для 4-ого вида построения СБ:

Итоговое событие, связанное с отказом всей системы безопасности, связано с отказом оборудования или конструкций рассматриваемой ТС аналогично 3-ему варианту построения СБ (остальные параметры F определяются также аналогично). Различие состоит только в том, что вместо $OS_{pers}^{SB_3}$ рассматривается OS^{SB_3} (опасное событие связанное с отказом 3-его элемента СБ), а вместо $P_{pers}^{SB_3}$ рассматривается P^{SB_3} (вероятность отказа 3-его элемента СБ).

Далее согласно проектной процедуре также как и для исходного проекта объекта, после определения всех связей опасных событий между собой, произ-

водится построение «дерева отказов» для проекта ТС дополненного СБ:

$$\begin{aligned} \text{funcScensSB} : \{OS, P^{OS}, Dose_{pers}^{Eq}\} = F^{result} \rightarrow ScensSB_j \\ ScensSB_j = \{OS^{ScensSB_j}, P^{ScensSB_j}, Dose_{pers}^{ScensSB_j}\} \end{aligned} \quad (2.16)$$

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

После завершения проектных процедур связанных с определением всех возможных сценариев аварий исходного проекта ТС и проекта ТС дополненного СБ производится расчет экономического ущерба последствий указанных аварий, т.е. формируется множество ущербов:

$$\begin{aligned} \{Dose_{pers}, A_r^{exit}, M_r^{exit}, AC^{exit}, SN^{exit}\}^{Scens_i} \Rightarrow U^{Scens_i} \\ \{Dose_{pers}, A_r^{exit}, M_r^{exit}, AC^{exit}, SN^{exit}\}^{ScensSB_i} \Rightarrow U^{ScensSB_i} \end{aligned} \quad (2.17)$$

где $\{U^{Scens_j}\}_{j=1}^s$, $\{U^{ScensSB_j}\}_{j=1}^s$ – множество ущербов от реализации сценариев возможных аварий на проектируемом объекте.

Методика оценки последствий реализации проектных и запроектных аварий (на примере радиационно опасных объектов), учитывающая воздействие на людей, объекты техносферы и окружающую среду, разработанная авторами данной работы, приведена в разделе 2.4.

После определения всех необходимых параметров риска возможных аварий в проектируемой ТС, проводится классификация аварий с помощью отображения указанных данных на F/N диаграмме согласно методики классификации риска возможных проектных и запроектных аварий на проектируемом объекте (на примере радиационно опасных объектов), с выдачей рекомендаций о проведении необходимых корректирующих мероприятий (см. раздел 2.5).

Для чего, используя функции funcRisk и funcRiskSB , происходит возвращение некоторого результирующего значения риска набора опасных событий, характеризующего конкретный сценарий развития аварии:

для исходного проекта ТС:

$$funcRisk : \langle OS^{Scens_i}, P^{Scens_i}, U^{Scens_i} \rangle \rightarrow Risk^{Scens_i} \quad (2.18)$$

для проекта ТС дополненного СБ:

$$funcRiskSB : \langle OS^{ScensSB_i}, P^{ScensSB_i}, U^{ScensSB_i} \rangle \rightarrow Risk^{ScensSB_i} \quad (2.19)$$

После чего происходит построение самой F/N диаграммы путем передачи в блок «Классификация риска аварий» данных о выработанных критериях безопасности из блока «Выработка критериев безопасности».

После чего проводится сопоставление степени риска указанных аварий с выработанными критериями безопасности, определяемыми допустимым для эксплуатации 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 объекта с помощью соответствующих проектных решений.

Множество корректирующих мероприятий может быть представлено в следующем виде:

$$CorAction = \{OrgAct, TehAct\}, \quad (2.20)$$

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

Далее выявленные способы снижения риска и выработанные требования к спроектированным системам безопасности сопоставляются с альтернативными решениями. Если при приемлемых затратах на корректирующие мероприятия невозможно достичь требуемого уровня безопасности объекта, то проводится изменение критериев безопасности в пределах нормативных требований или корректировка проекта по выработанным рекомендациям (возможно только на этапе проектирования объекта). После чего анализ повторяется до тех пор, пока не будет найдено приемлемое решение проблем безопасности или будет принято решение об отказе от создания объекта.

2.3. Расчет параметров надежности систем безопасности объектов

Способы задания вероятностных параметров надежности систем безопасности

В соответствии с [120] под надежностью понимают свойство готовности и влияющие на него свойства безотказности и ремонтпригодности, и поддержка технического обслуживания. Основными составляющими надежности являются безотказность, восстанавливаемость и долговечность [121]. В качестве количественных характеристик надежности чаще всего используют вероятность и среднее время безотказной работы, коэффициент готовности и т. п. Надежность системы зависит от ее состава и структуры, т. е. от количества и качества составных элементов и способов их объединения в системе. Очевидными средствами повышения надежности системы являются увеличение надежности элементов, а также резервирование (введение в систему избыточных элементов, которые должны заменять выходящие из строя, или функционировать параллельно). В резервированных системах восстановление (ремонт отказавшего элемента или пополнение резерва) может производиться немедленно после отказа или только после того, как все резервные элементы исчерпаны. Соответственно различают восстанавливаемые (ремонтируемые) и невосстанавливаемые (неремонтируемые) системы.

Исходные вероятностные параметры надежности (вероятность безотказной работы, стойкость и т.п.) могут задаваться несколькими способами:

А. Каждому рассматриваемому объекту сопоставляется вероятность свершения соответствующего случайного события, например, вероятность безотказной работы насоса, вероятность закрытия клапана при получении установленного сигнала, вероятность сохранения работоспособности при ударном воздействии и т.д. Этот способ используется в случае произвольных законов распределения соответствующих случайных величин, когда определение вероятностных показателей требует достаточно сложных вычислений, использования таблиц, номограмм и т.д.

Этот же способ используется и при отсутствии информации о законах распределения или об их отдельных характеристиках. В данном случае вероятностные показатели назначаются специалистом. Это позволяет сравнивать между собой различные варианты путей развития исходных событий, определять их «узкие» места, устанавливать, какова должна быть надежность отдельных элементов для обеспечения требуемой надежности системы в целом.

Б. В случае экспоненциальности законов распределения времени безот-

казной работы и времени восстановления элементов систем их исходные вероятностные параметры задаются при помощи ввода интенсивностей отказов, времени работы системы в целом или каждого элемента, среднего времени восстановления элементов или интенсивностей восстановлений.

В. При наличии информации о параметрах закона распределения (Нормального, логарифмически-нормального, Вейбулла-Гнеденко и т.д.) задаются параметры этих законов – параметр масштаба и параметр формы.

При расчетах живучести и безопасности сложных объектов в случае, когда система подвергается последовательности неблагоприятных воздействий, вероятностные характеристики стойкости элементов задаются для каждого очередного воздействия.

Г. При наличии в системе периодически контролируемых и, при необходимости, восстанавливаемых элементов расчет их вероятностных характеристик может производиться с учетом конкретных стратегий контроля и восстановления. Это вызвано тем, что ряд систем объектов, прежде всего, систем безопасности (СБ) имеют ярко выраженную специфику, к основным чертам которой следует отнести [5]:

- 1) Сложность режимов использования;
- 2) Разнотипность элементов;
- 3) Использование сложных стратегий периодического контроля и ремонта.

Количественный анализ надежности систем безопасности

Для расчета параметров надежности систем безопасности ТС в данной работе используются методы теории вероятностей и математической статистики.

Рассматриваемые элементы сложных технических систем могут находиться в одном из двух режимов использования - в режиме ожидания или в режиме выполнения функции.

Первый режим, как правило, более длителен, оборудование бездействует, физические причины отказов достаточно специфичны - не связаны, например, с механическим износом, интенсивности отказов сравнительно невелики. Во время ожидания все или часть элементов могут проверяться путем приведения в действие и восстанавливаться. При нахождении системы во втором режиме действуют все физические причины отказов, их интенсивности, как правило, более высоки. Контролю подлежат прямо или косвенно - все элементы, восстанавливаться же может, обычно, меньшая, чем при первом режиме, часть эле-

ментов.

Контроль состояния элементов осуществляется путем приведения в действие через строго определенные промежутки времени. Обычно длительность интервала Δt_{int} между началами очередных проверок зафиксирована в технической документации, используемой на объекте.

В зависимости от режима контроля и восстановления отказы элементов сложных технических систем можно разделить на [5]:

- скрытые, возникающие у элементов, неконтролируемых в режиме ожидания - n ;
- скрытые, возникающие у элементов, периодически контролируемых в режиме ожидания, обнаруживаемые во время контроля, устраняемые и не устраняемые при работе объектов - pu и pn соответственно;
- явные, возникающие у элементов, непрерывно контролируемых в режиме ожидания, оперативно выявляемые, устраняемые и не устраняемые при работе объектов - ku и kn соответственно;
- явные, возникающие при работе элементов по прямому назначению, устраняемые и не устраняемые - ru и rn соответственно.

Надежность элементов с данными типами отказов может быть оценена с помощью вероятностных показателей, приведенных в таблице 7.

Таблица 7 – Вероятностные показатели для различных типов отказов.

№ п/п	Тип отказа	Интенсивность отказов, λ 1/час	Постоянная составляющая вероятности отказа на требование	Среднее время восстановления, t_w , час
1	n	$\lambda_n(\tau)$	P_{0n}	-
2	pu	$\lambda_{pu}(\tau)$	P_{0pu}	T_{wpu}
3	pn	$\lambda_{pn}(\tau)$	P_{0pn}	-
4	ku	$\lambda_{ku}(\tau)$	P_{0ku}	T_{wku}
5	kn	$\lambda_{kn}(\tau)$	P_{0kn}	
6	ru	$\lambda_{ru}(\tau)$	-	T_{wru}
7	rn	$\lambda_{rn}(\tau)$	-	

Учет всех приведенных выше особенностей возможен при реализации модульного принципа моделирования. В данном случае это означает, что необходима разработка математической модели для каждого типа элементов с последующим согласованием частных моделей и модели всей системы. Это позволяет обеспечить сравнительную простоту отдельных модулей, снизить количество допущений, повысить точность и сократить время моделирования.

Моделирование надежности системы в рамках диссертационного исследования производится с помощью построения дерева отказов [122], а модели-

рование надежности элементов – с помощью относительно простых аналитических зависимостей, позволяющих рассчитывать вероятности выходов из строя элементов на каждом из участков.

Такие зависимости известны и приведены в работах [5, 123]. Вывод выражений для расчета вероятностей выхода из строя элементов, указанных в таблице 7 типов, приведен в [5], в предположении, что законы распределения времени безотказной работы и времени восстановления - экспоненциальные.

Итоговым показателем ненадежности элемента является средняя на интервале $[0, T]$ вероятность неработоспособного состояния элемента, вычисляемая известными методами, например, путем расчета точечных значений вероятностей (с заданным шагом), их суммирования и последующего деления на продолжительность интервала.

Полученные средние являются вероятностями опасных событий, которые используются при расчете возможностей реализации аварий, описанных в виде «дерева неисправностей».

2.4. Оценка ущерба от аварий в ТС содержащих опасные вещества

Расчет ущерба от аварий

На всех этапах жизненного цикла ТС необходимо проведение проверки соблюдения принципа обоснования [124], связанного с взвешиванием пользы и вреда от источника опасности.

Чаще всего польза и вред измеряются через экономические показатели, и от правильности проводимых расчетов зависит как достаточность принимаемых мер безопасности, так и возможность ликвидации возможных аварий на объекте в кратчайшие сроки и с минимальными последствиями.

В рамках диссертационного исследования разработана методика оценки ущерба от последствий аварий на радиационно опасных объектах (как одном из типов ТС содержащих опасные вещества), которая позволяет рассчитать основные потери и затраты с точки зрения воздействия аварийного объекта на людей, объекты техносферы и окружающую среду.

На современном этапе технического регулирования величину ущерба (а соответственно и риска) от неблагоприятных событий можно оценивать по двум показателям: экономическим – в рублях (условных единицах) и человеческих потерях (дозовых нагрузках на персонал и население).

Более информативными являются сведения об экономических последствиях, т.к. они отражают все стороны радиационного воздействия вышедшего за

барьеры безопасности.

Общий ущерб U (или его составляющие U_i – ущерб от i -ого неблагоприятного события) определяется через обобщенный функционал (сумму) ущербов, наносимых населению N , объектам техносферы T (предприятиям, фирмам и т.п.) и окружающей среде S [44]:

$$U = F_U \{U_N, U_T, U_S\} = \sum_i [F_{U_i} (U_{N_i}, U_{T_i}, U_{S_i})] \quad (2.40)$$

Основные компоненты экономического ущерба при радиационных авариях могут быть разделены на две большие части, связанные со следующими потерями и затратами:

- экономическая оценка вреда для здоровья и жизни населения и персонала (U_N^1);
- затраты на следующие виды работ по ликвидации последствий радиационной аварии, в том числе:
 - обследование загрязнённых ОВ помещений и территорий (U_T^1);
 - дезактивацию помещений и прилегающих территорий (U_T^2);
 - транспортирование и захоронение опасных отходов на спецкомбинатах (U_T^3);
 - экономические потери для сельскохозяйственного производства (вывод земель из сельскохозяйственного производства, недополучение продукции) (U_S^1);
 - имущественные потери физических (U_N^2 и U_N^3) и юридических (U_T^3 и U_T^4) лиц в результате аварии.

Ниже подробно остановимся на подходах применяемых при расчетах различных компонент экономического ущерба при аварии на РОО, как одном из типов ТС содержащих опасные вещества.

Экономическая оценка вреда для здоровья и жизни населения и персонала

В соответствии с пунктом 2.2 НРБ-99/2009 [125]: «...облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел.-Зв приводит к потенциальному ущербу, равному потере примерно 1 чел.-года жизни населения. Величина денежного эквивалента потери 1 чел.-года жизни устанавливается отдельными документами федерального уровня в размере не менее 1 годового душевого национального дохода...». Следовательно, величина ущерба принимается пропорциональной коллективной дозе. Эта компонента экономического ущерба (U_N^1) определяется

по формуле:

$$U_N^1 = a \cdot E_{kol}, \quad (2.41)$$

где a – величина ущерба для здоровья на единицу коллективной дозы, руб/чел·Зв; E_{kol} – коллективная доза, чел·Зв.

Следует отметить, что в настоящее время отсутствует утвержденная величина ущерба для здоровья на единицу коллективной дозы. Поэтому для первого приближения предлагается использовать разработанный в рамках данного исследования подход, который состоит из следующих этапов [126]:

Этап 1. На основе имеющихся данных о возможных радиационных воздействиях на население, возникающих вследствие аварии на РОО, выполняется распределение людей из персонала и населения по следующим категориям (см. таблица 8), определенным на основании детерминированных последствий однократного равномерного гамма-облучения всего тела человека.

Таблица 8 – Категории людей, определяемые при воздействии радиационного облучения.

Поглощенная доза на все тело, Гр	Последствия облучения, степень лучевой болезни [127-130]	Группа инвалидности [131], вероятность смертельного исхода
до 1	Степень лучевой болезни: Не достигнут дозовый порог, вызывающий острую лучевую болезнь Другие возможные изменения в организме: –временная стерильность; –помутнение хрусталика.	Группа инвалидности не предусмотрена
1÷2	Степень лучевой болезни: Кратковременная легкая форма острой лучевой болезни. Другие возможные изменения в организме: –временная стерильность; –помутнение хрусталика	Группа инвалидности не предусмотрена
2÷4	Степень лучевой болезни: Острая лучевая болезнь средней тяжести. Другие возможные изменения в организме: –постоянная стерильность; –помутнение хрусталика	– III группа инвалидности – вероятность смертельного исхода 25%
4÷6	Степень лучевой болезни: Тяжелая форма лучевой болезни. Другие возможные изменения в организме: –постоянная стерильность; –катаракта хрусталика.	– I или II группа инвалидности – вероятность смертельного исхода 50%

Поглощенная доза на все тело, Гр	Последствия облучения, степень лучевой болезни [127-130]	Группа инвалидности [131], вероятность смертельного исхода
более 6	Степень лучевой болезни: Крайне тяжелая форма лучевой болезни.	Смертельный исход в 100% случаев.

Этап 2. Используя формулу из [44]:

$$U_N^1 = U_L \cdot K_L + \sum_i U_{NL_i} \cdot K_{NL_i}, \quad (2.42)$$

где U_L – ущерб, связанный с потерей одной человеческой жизни равен $3 \cdot 10^4$ МРОТ; K_L – количество лиц из населения, облученных летальными дозами; U_{NL_i} – ущерб, связанный с нанесением вреда здоровью человека (исключая смертельные исходы), который может быть рассчитан с использованием понижающих коэффициентов для U_L :

$$U_{NL_i} = r_i \cdot U_L, \quad (2.43)$$

где r_i – коэффициенты снижения ущербов для трех групп инвалидности (или потери трудоспособности), равных соответственно для первой группы – 0,1, для второй – 0,3 и для третьей – 0,5; K_{NL_i} – количество лиц из населения, облученных дозами, последствия от которых для здоровья человека могут быть основанием для установления ему группы инвалидности (где $i = 1, 2, 3$, соответственно).

Расчет затрат на обследование помещений и территорий загрязненных ОБ

Экономический ущерб U_T^1 в этом случае рассчитывается как сумма затрат по различным видам работ по формуле [43]:

$$U_T^1 = \sum_i C_i \cdot S_i, \quad (2.44)$$

где C_i – цена единицы данного вида работ (виды работ см., например, таблица 9); S_i – площадь или объем вида работ.

Таблица 9 – Перечень работ, проводимых при обследовании помещений и территорий, загрязненных радионуклидами.

№	Наименование работы или услуги	Единица
1	Гамма-спектрометрические исследования проб:	1 проба
2	Контроль радиоактивной загрязненности методом снятия мазка	1 мазок
3	Дозиметрические и радиометрические измерения	10 точек
4	Альфа- радиометрические измерения	1 кв.м
5	Радиометрическое исследование проб	1 проба
6	Радиохимические исследования проб	1 проба

№	Наименование работы или услуги	Единица
6.1	– воздуха	÷
6.2	– сточных вод	÷

Расчет затрат на дезактивацию помещений и территорий

В случае радиационных аварий дезактивации могут подлежать помещения и прилегающей территория. В специальной литературе рассматриваются различные методы дезактивации помещений и территорий (см., например, [132]).

Затраты на дезактивацию помещений и территории U_T^2 определяются площадью загрязненной территории, характером работ и их стоимостью и рассчитываются по вышеприведенной формуле (2.44).

Структура затрат на проведение работ по дезактивации является типовой, характерной для предприятий, выполняющих соответствующие работы. Поскольку такие предприятия имеются во всех регионах России, то для конкретных расчетов целесообразно брать соответствующие затраты предприятий, находящихся в регионах.

Расчет затрат на транспортирование и захоронение опасных отходов на спецкомбинатах

Объем отходов, подлежащих захоронению, определяется в каждом конкретном случае для определенного сценария аварии и рекомендуемых методов дезактивации помещений и территорий.

Экономический ущерб и в этом случае U_T^3 рассчитывается как сумма затрат по различным видам работ по формуле, аналогичной (2.44), где C_i – цена единицы данного вида работ (виды работ см., например, таблица 10).

Таблица 10 – Перечень работ, проводимых при транспортировке и захоронении РАО [133].

№	Наименование услуг	Единица измерения	Цена, тыс.руб.
1	Дезактивация спецодежды и других средств индивидуальной защиты с транспортировкой	т	40÷50
2	Переработка и захоронение твердых радиоактивных отходов (ТРО)	м ³	15÷20
3	Переработка жидких радиоактивных отходов (ЖРО)	м ³	3÷6
4	Хранение и захоронение ИИИ	ТБк	0,2÷25
5	Транспортировка по всем видам работ (кроме п.1)	т·км	0,03÷0,15

Расчет экономических потерь вследствие вывода земель из сельскохозяйственного производства

Одним из последствий радиационной аварии с выходом РВ из упаковки или источника является загрязнение окружающего пространства. Если загрязнению подверглись земли сельскохозяйственного назначения, то можно предполагать, что в этом случае ущерб не сводится только к их дезактивации, но и должен учитывать затраты на возврат земель в сельскохозяйственное использование.

Расчет экономического ущерба от вывода земель из сельскохозяйственного оборота вследствие загрязнения радионуклидами производится по формуле [43]:

$$U_S^1 = N \cdot S \cdot \frac{t}{T}, \quad (2.45)$$

где N – норматив стоимости земли за 1 га; S – площадь участка, выведенного из сельхозоборота вследствие радиоактивного загрязнения, га; t – период времени неиспользования участка земли под сельскохозяйственного производство, лет; T – нормативный срок окупаемости участка земли, используемого для сельскохозяйственного производства без коренного улучшения его качества, принят равным 20 годам [43] (может быть от 10 до 50 лет в зависимости от направления ее использования).

Оценка имущественных потерь физических и юридических лиц в результате радиационной аварии

В основе имущественных потерь лежит расчет стоимости недвижимого и иного имущества, приходящегося на среднестатистическую семью, проживающую в городе или в сельской местности.

Расчет имущественных потерь (ущерба), нанесенных физическим лицам вследствие радиационной аварии, выполняется по следующей формуле [43]:

$$U_N^2 = k_1 \cdot k_2 \cdot N_i \cdot y, \quad (2.46)$$

где k_1 – доля безвозвратных потерь имущества физических лиц (населения), изменяется от 0 до 1; k_2 – коэффициент, учитывающий стоимостную долю прочего имущества (за исключением предметов длительного пользования), принимается равным 1,3 [43], исходя из структуры потребительских расходов населения; N_i – количество физических лиц (населения), понесших имущественные потери в результате аварии, чел; y – стоимостная оценка имущества, приходя-

щаяся на одного человека из населения (включая детей).

При безвозвратной потере имущества (при эвакуации населения из зоны сильного загрязнения, сильном загрязнении имущества и невозможности его дезактивации и т.д.) коэффициент k_1 принимается равным 1, а при частичной потере – рекомендуется принять его значение равным 0,5 [43].

К величине U_N^2 следует прибавить стоимость жилья, приходящегося на одного человека из населения, определяемую по следующей формуле [126]:

$$U_N^3 = k_3 \cdot k_4 \cdot C, \quad (2.47)$$

где C – средняя цена кв. м жилья; k_3 – доля безвозвратных потерь для квартиры (и вообще для недвижимого имущества) принимается равной 1 или 0 в связи с тем, что в результате радиационной аварии возможны лишь два исхода для ее владельцев; k_4 – коэффициент, учитывающий среднюю обеспеченность одного человека из населения России кв. м жилья.

Ущерб, наносимый юридическим лицам, может быть определен на основании данных по годовому финансовому обороту пострадавшей фирмы и доле времени, потерянного в результате радиационной аварии по следующей формуле [43]:

$$U_T^3 = F \cdot t_F, \quad (2.48)$$

где F – годовой финансовый оборот фирмы, тыс.руб/год; t_F – время, потерянное фирмой вследствие прекращения операций в результате радиационной аварии, год.

Для расчета имущественных потерь юридического лица может быть использована формула аналогичная формулам (2.46) и (2.47) с заменой величины стоимости личного имущества, приходящегося на одно физическое лицо, на величину стоимости поврежденного имущества фирмы с разделением его на движимое (оргтехника, компьютеры, автомашины и др.) и недвижимое (офис) имущество [43]:

$$U_T^4 = k_1 \cdot I_d + k_3 \cdot I_n, \quad (2.49)$$

где I_d – стоимость движимого имущества юридического лица, пострадавшего в результате радиационной аварии, тыс.руб.; I_n – стоимость недвижимого имущества фирмы.

Относительно выбора коэффициентов k_1 и k_3 справедливо все вышесказанное [43].

2.5.F-N диаграмма риска для оценки значимости возможных аварий на объектах

Общие сведения

Как уже было сказано выше в настоящее время разработано большое количество методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах [23], существуют методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов [22]. Однако работы по классификации риска аварий полученных после анализа находятся в настоящее время лишь на стадии развития. Важность проведения корректирующих мероприятий для того или иного рассмотренного опасного события основывается в основном на экспертных оценках, которые опираются в большинстве случаев на субъективную точку зрения специалистов, проводящих анализ, и не имеют единой обоснованной концепции. Это в большинстве случаев приводит к недостаточной степени проработанности результатов оценок риска и, соответственно, либо к неоправданным затратам на повышение безопасности в случаях, когда опасность изначально пренебрежимо мала, либо к отсутствию действий на предотвращение последовательности опасных событий, вероятность которых мала, но последствия являются катастрофическими.

В связи с вышесказанным в рамках диссертационного исследования была разработана методика классификации риска возможных проектных и запроектных аварий на проектируемых радиационно опасных объектах, с выдачей рекомендаций о проведении необходимых корректирующих мероприятий.

На рисунке 13 приведена общая блок-схема проектной процедуры классификации радиационных аварий на РОО (Указанные в [64] схемы были переработаны для автоматизации процесса классификации. Также были пересмотрены критерии отнесения аварий к уровням шкалы INES с точки зрения различных характеристик их последствий.). Как видно из рисунка рассматриваются три различных сферы воздействия последствий аварий: воздействие за пределами площадки, воздействие на площадке и воздействие на глубокоозелонированную защиту.

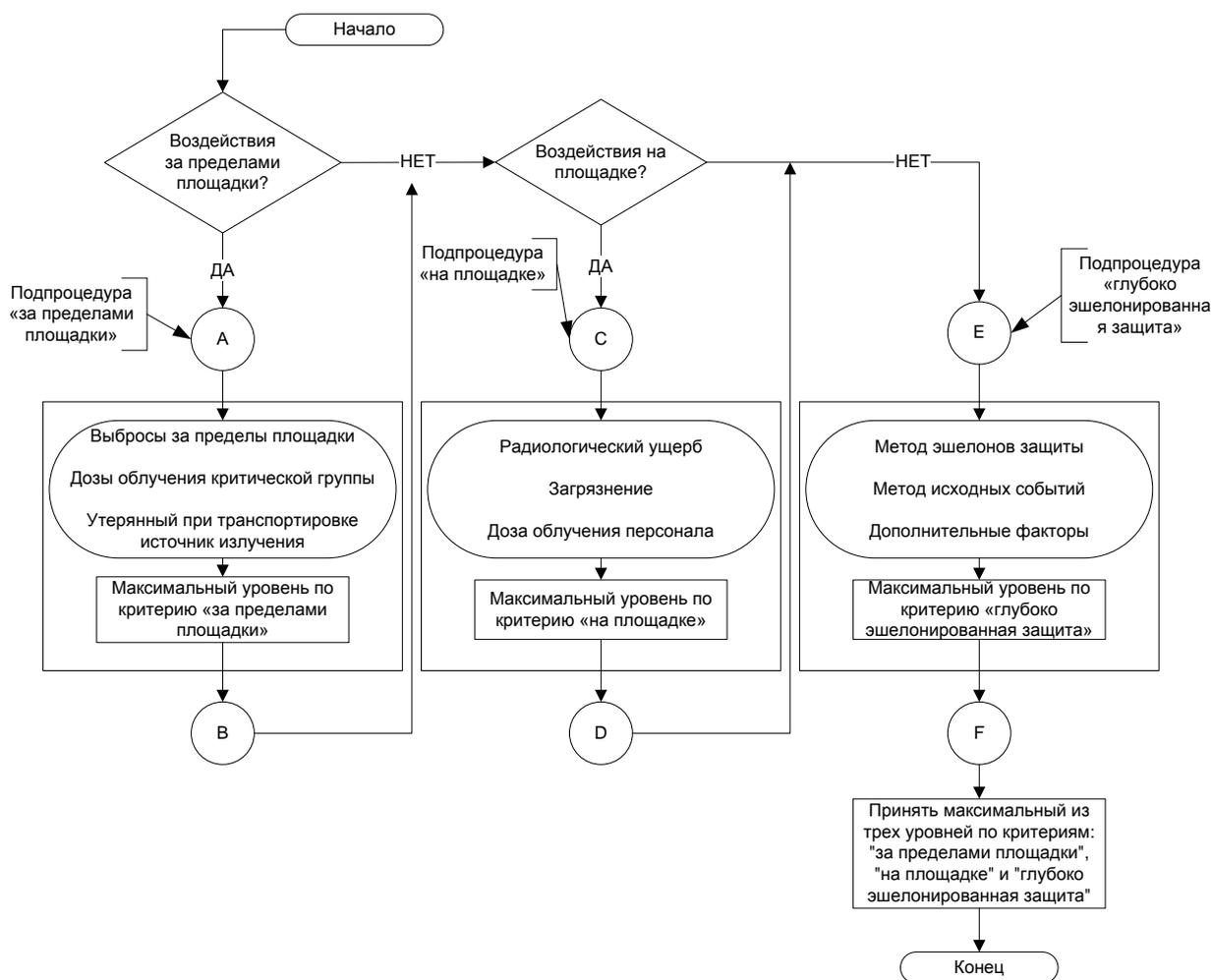


Рис. 13. Общая блок-схема процедуры классификации радиационных аварий на РОО.

Ниже подробно рассмотрены каждая из сфер воздействия.

События, сопровождающиеся выбросом радиоактивности за пределы площадки РОО. В данном случае рассматриваются только те события, в результате реализации которых возможно непосредственное воздействие радиоактивности на население (см. рисунок 14), именно такие выбросы больше всего беспокоят общественность. Наименьшим с точки зрения последствий рассматриваемым в данной подпроцедуре событием является выброс, который приводит к максимальной расчетной дозе облучения критической группы, численно эквивалентной приблизительно десятой доле предельной годовой дозы для населения и соответствует уровню 3 по шкале INES.

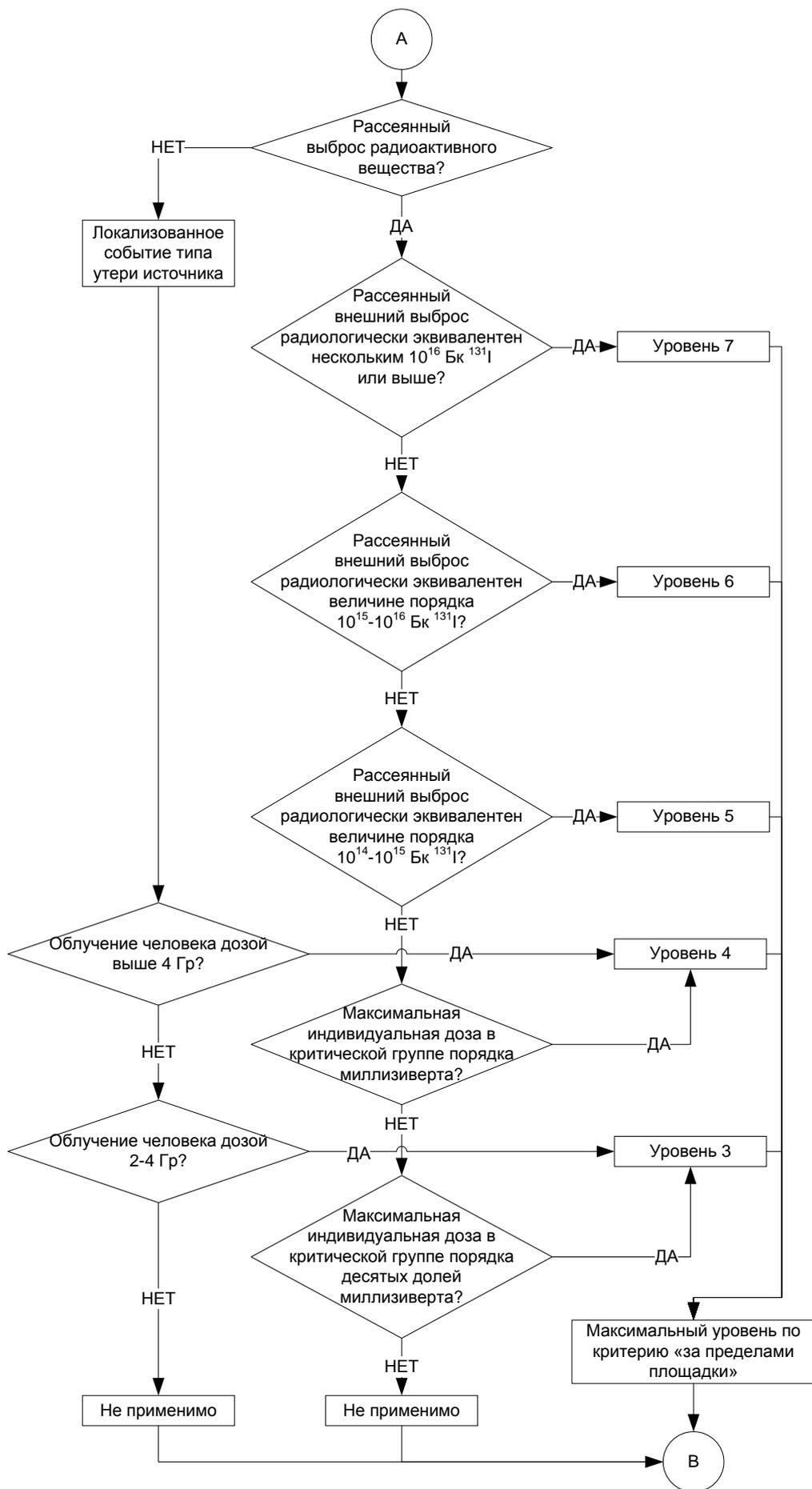


Рис. 14. Блок-схема подпроцедуры «за пределами площадки».

Такая доза обычно составляет около одной десятой среднегодовой дозы от естественного радиационного фона. Высшая ступень в первом столбце соответствует крупной ядерной аварии с обширными последствиями для здоровья населения и для окружающей среды.

События, сопровождающиеся воздействием радиоактивности на площадке расположения РОО. Здесь рассматриваются события, негативное воздействие которых распространяется только в пределах площадки расположения РОО (см. рисунок 15). Эта категория событий охватывает диапазон от уровня 2 («Облучение работника дозой 1-2 Гр») до уровня 5 («Выход за барьер безопасности РВ, который радиологически эквивалентен величине порядка 10^{15} - 10^{16} Бк ^{131}I »).

Пояснения к отдельным блокам рисунка 15:

- (1) –в данном случае рассматриваются события на РОО, сопровождающиеся выбросом (утечкой) ОВ в указанных количествах за барьеры безопасности, когда невозможно вернуть этот активный материал в зону безопасного хранения. Под барьером безопасности здесь понимаются границы ЭТСС, содержащего до реализации отказа ОВ.
- (2) события, сопровождающиеся выбросом (утечкой) ОВ в указанных количествах за барьеры безопасности, когда имеется возможность вернуть этот активный материал в зону безопасного хранения.
- (3) в данном контексте под «значительным количеством» понимается: а) загрязнение жидкостями с суммарной активностью, радиологически эквивалентной нескольким сотням гигабеккерелей рутения-106; б) выброс твердого радиоактивного материала в количестве, радиологически эквивалентном нескольким сотням гигабеккерелей рутения-106; в) выброс аэрозольного радиоактивного материала внутри здания в количестве, радиологически эквивалентном нескольким десяткам гигабеккерелей йода-131.

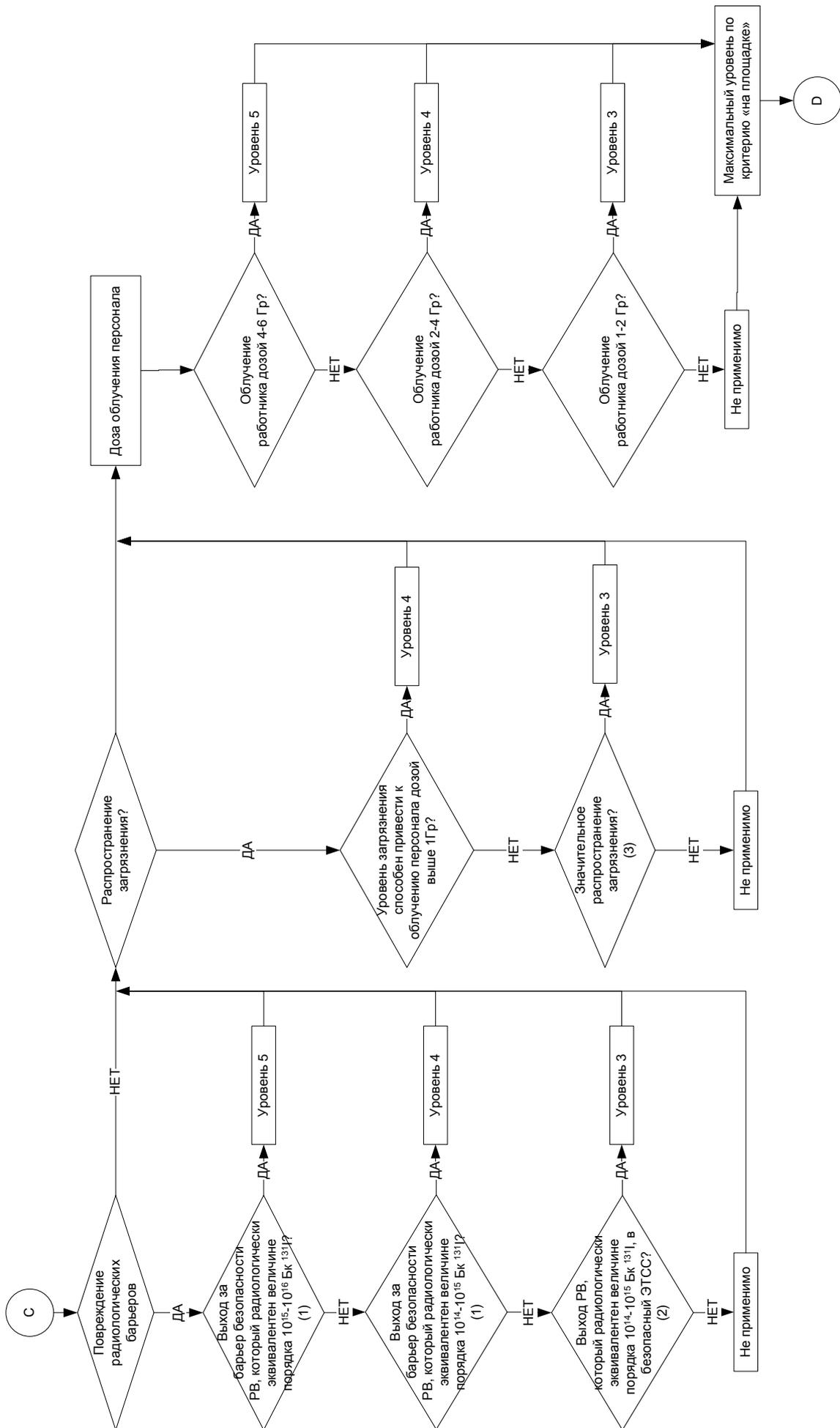


Рис. 15. Блок-схема подпроцедуры «на площадке».

События, сопровождающиеся воздействием на глубокоэшелонированную защиту РОО. Предотвращение радиологических аварий и инцидентов на РОО основывается на качестве исходного проекта объекта. Концепция глубокоэшелонированной защиты применяется для учета возможности отказа оборудования, ошибки человека и незапланированного развития событий.

Определение глубокоэшелонированной защиты, сформулированное Международной консультативной группой по ядерной безопасности, гласит [136]:

«...Для компенсации потенциальных ошибок человека и механических отказов реализуется концепция глубокоэшелонированной защиты, опирающаяся на несколько уровней защиты и включающая последовательные барьеры, препятствующие выходу радиоактивных веществ в окружающую среду. Эта концепция включает защиту барьеров для предотвращения повреждения установки и самих барьеров. Она включает дальнейшие меры защиты населения и окружающей среды от ущерба в случае, если эти барьеры окажутся не вполне эффективными...».

Следует отметить, что средства глубокоэшелонированной защиты предусматриваются на всех РОО и при транспортировке ядерных материалов. Решение о необходимости их использования продиктована обязательностью выполнения требований по защите населения и персонала, которые включают меры и средства, предупреждающие перенос материала в слабо защищенные участки, а также выброс (утечку) радиоактивности. Глубокоэшелонированная защита, таким образом, представляет собой комбинацию консервативного проектирования, обеспечения качества, деятельности по надзору и контролю, средств ограничения последствий и общей культуры безопасности, которая укрепляет каждый из последовательных уровней (эшелонов) защиты.

На рисунке 16 приведена блок-схема подпроцедуры «глубокоэшелонированная защита». В схеме под термином высокоустойчивый эшелон защиты понимается ЭТСС, обладающий следующими характеристиками:

а) эшелон защиты рассчитан на преодоление всех проектных недостатков и указан или подразумевается в обосновании безопасности объекта как требующий особенно высокого уровня надежности или целостности;

б) целостность эшелона защиты обеспечивается соответствующим контролем или проверками таким образом, что выявляется любое ухудшение целостности;

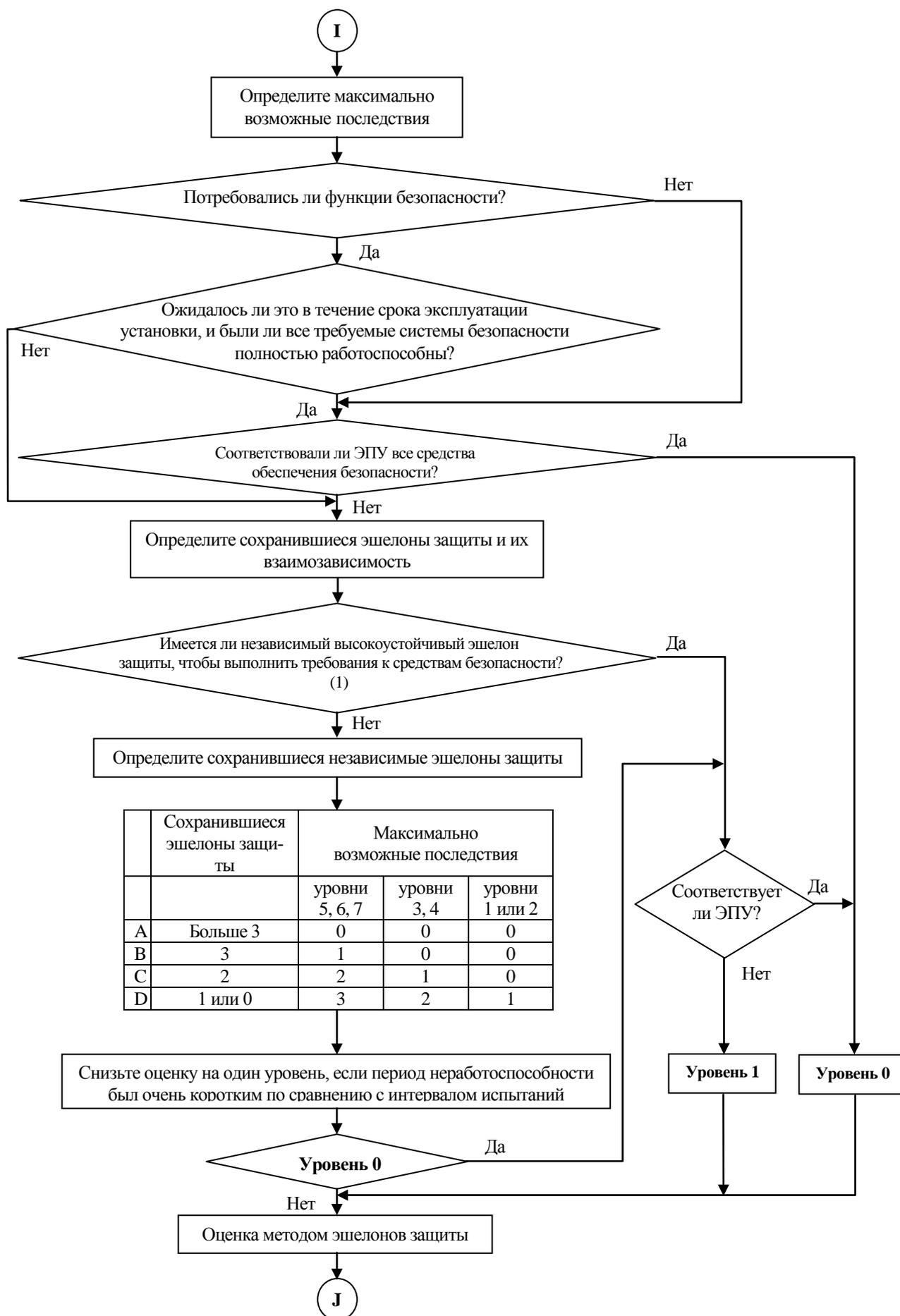


Рис. 16. Блок-схема подпроцедуры «глубокоэшелонированная защита».

в) при обнаружении любого ухудшения состояния эшелона защиты, имеются определенные средства, чтобы справиться с нарушением и осуществить корректирующие меры – либо по заранее установленным процедурам, либо благодаря длительному располагаемому времени для ослабления последствий нарушения.

Дополнительно в рамках данного исследования была решена задача разработки и обоснования варианта классификации радиационного риска аварий для РОО, позволяющего минимизировать субъективность в восприятии результатов анализа, в форме F-N диаграммы (см. рисунок 17) [134].

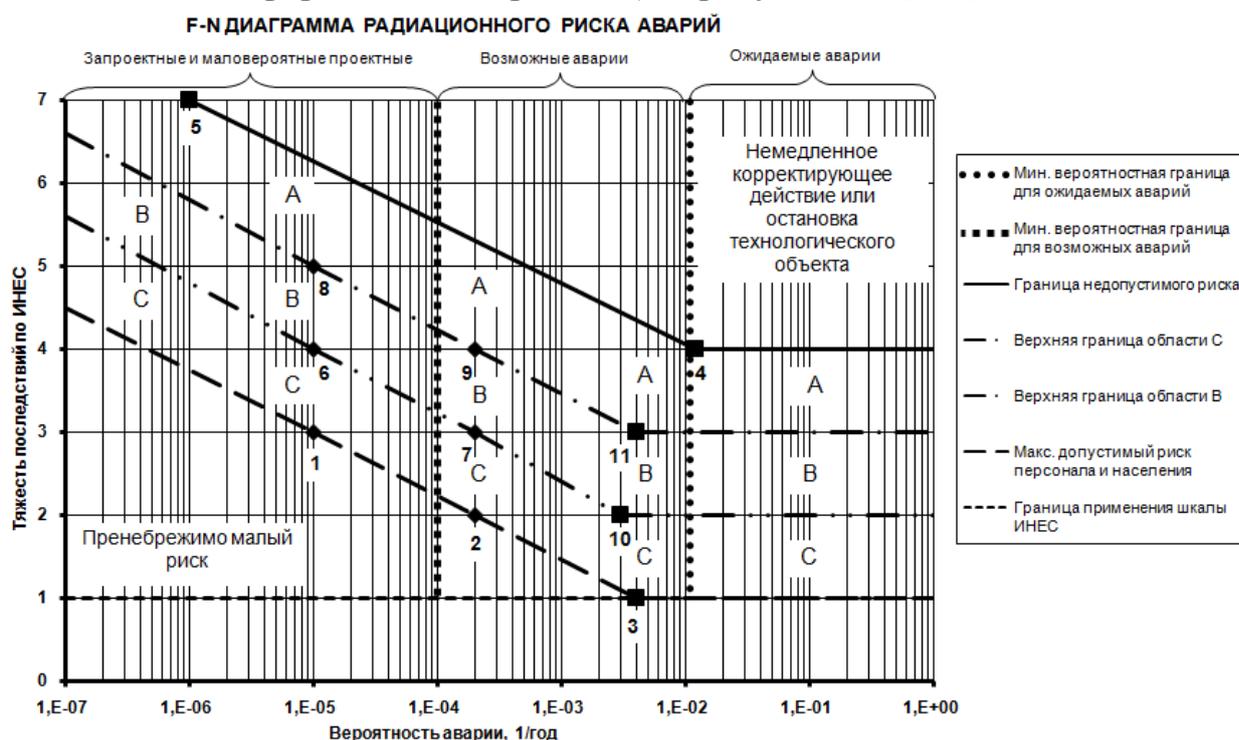


Рис. 17. F-N диаграмма радиационного риска аварий на РОО

Определение границ матрицы

По оси абсцисс диаграммы отложены вероятности возникновения аварий рассматриваемых при проведении обоснования безопасности РОО. Шкала является логарифмической с ограниченным диапазоном от 10^{-7} до 1 год^{-1} . Первое граничное значение продиктовано общепринятой концепцией минимально значимой вероятности проявления опасности, а второе – недопустимостью возникновения аварий в ТС чаще 1 события в год.

По оси ординат отложена возможная тяжесть последствий аварий в соответствии с Международной шкалой ядерных событий (INES) [64], описанной в пункте 1.6.

Предполагается, что каждый уровень шкалы отличается от предыдущего на порядок, а основные деления оси ординат отстоят друг от друга на одинаково-

вую величину.

Проектные и запроектные аварии

В соответствии с [64] исходные события аварий по частоте их возникновения можно разделить на:

– ожидаемые: исходные события, наступление которых ожидается один или несколько раз за весь срок эксплуатации объекта;

– возможные: исходные события, которые не «ожидаются», но их предполагаемая вероятность за срок эксплуатации превышает уровень около 1% (т.е. около $3 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹);

– маловероятные: исходные события, рассматриваемые в проекте объекта, которые менее вероятны, чем предыдущие.

– запроектные: исходные события с очень малой частотой, которые, как правило, не включаются в обычный анализ безопасности объекта. Если все же вводятся системы защиты от таких исходных событий, то они не обязательно должны иметь тот же уровень резервирования или разнородности, как меры защиты от проектных аварий.

Данные сведения помогают выделить наиболее важные с точки зрения необходимости первичного рассмотрения возможные аварии, поэтому на рис. 17 определены минимальные границы вероятности возникновения «ожидаемых» и «возможных» исходных событий аварий для объекта с проектным сроком эксплуатации 50 лет.

Приемлемый (незначительный) и недопустимый риски

В настоящее время уровень безопасности той или иной человеческой деятельности выражают через единую меру – вероятную частоту гибели людей, т.е. через индивидуальный (либо обобщенный) риск гибели людей в пересчете на год жизни.

Для определения границы приемлемого риска при эксплуатации РОО на матрице риска были использованы значения обобщенного риска (произведение вероятности события, приводящего к облучению, и вероятности смерти, связанной с облучением) утвержденные в [125] и описания уровней шкалы INES (см. пункт 1.6):

Точка 1. вероятность облучения населения [125]: более $1,0 \times 10^{-5}$, год⁻¹
уровень по шкале INES: «Уровень 3. Облучение населения на уровне долей установленных пределов»

Точка 2. вероятность переоблучения персонала [118]: более $2,0 \times 10^{-4}$, год⁻¹

уровень по шкале INES: «Уровень 2. Переоблучение персонала».

Через точки 1 и 2 была проведена прямая, характеризующая верхнюю границу приемлемого риска (на рис. 17 «Макс. допустимый риск персонала и населения»). Полученная прямая в точке 3 имеет перегиб и идет параллельно оси абсцисс по уровню 1 шкалы INES, т.к. нет необходимости выполнения каких-либо действий для устранения событий, не существенных с точки зрения безопасности. Область ниже полученной ограничительной линии представляет собой область пренебрежимо малого риска, где дополнительные меры безопасности практически не приводят к уменьшению риска.

При определении границы недопустимого риска был применен принцип недопущения повышения риска естественной смерти из-за эксплуатации опасного производственного объекта:

Точка 4. вероятность естественной смерти людей [11]: $1,2 \times 10^{-2}$, год⁻¹

уровень по шкале INES: «Уровень 4. Смертельное облучение персонала».

Используя значение пренебрежимо малой вероятности исходного события аварии [125], характеризующей запроектные аварии, и максимальный уровень шкалы INES была получена точка 5:

Точка 5. пренебрежимо малая вероятность исходного события [125]: 1×10^{-6} , год⁻¹

уровень по шкале INES: «Уровень 7. Крупномасштабные воздействия на здоровье и окружающую среду».

Через точки 4 и 5 была проведена прямая, характеризующая нижнюю границу недопустимого риска (на рис. 17 «Граница недопустимого риска»). Полученная прямая в точке 4 имеет перегиб и идет параллельно оси абсцисс по уровню 4 шкалы INES, т.к. никакими документами не регламентирована необходимость более жесткого установления границы. Область выше ограничительной линии представляет область недопустимо высокого риска, где требуется проведение немедленных мер безопасности или остановка работы объекта.

Коридор риска

Область, ограниченная линиями приемлемого (рис.17 - «Максимальный допустимый риск персонала и населения») и недопустимого (рис.17 - «Граница недопустимого риска») риска, обозначает коридор риска, в котором необходимо планирование и проведение соответствующих корректирующих действий, направленных на снижение вероятности возникновения исходных событий аварий и/или тяжести их последствий.

В полученном коридоре риска выделены области (категории), где:

С – рекомендуется проведение анализа риска и принятие мер безопасности (например, корректирующие действия в течение 24 месяцев);

В – желателен детальный анализ риска, требуются меры безопасности (например, корректирующие действия в течение 12 месяцев);

А – обязателен детальный анализ риска, требуются оперативные меры безопасности для снижения риска (например, корректирующие действия в течение 3 месяцев).

Верхние границы областей В и С получены исходя из предположения повышения тяжести последствий для персонала и населения при неизменной вероятности возникновения неблагоприятных воздействий, т.е.:

Точка 6. вероятность переоблучения населения: более $1,0 \times 10^{-5}$, год⁻¹
уровень по шкале INES: «Уровень 4. Облучение населения на уровне величин, сравнимых с установленными пределами».

Точка 7. вероятность переоблучения персонала: более $2,0 \times 10^{-4}$, год⁻¹
уровень по шкале INES: «Уровень 3. Острые лучевые поражения персонала».

Точка 8. вероятность переоблучения населения: более $1,0 \times 10^{-5}$, год⁻¹
уровень по шкале INES: «Уровень 5. вероятно, требуется частичное осуществление предусмотренных планом контрмер».

Точка 9. вероятность переоблучения персонала: более $2,0 \times 10^{-4}$, год⁻¹
уровень по шкале INES: «Уровень 4. Смертельное облучение персонала».

Через точки 6 и 7, 8 и 9 были проведены прямые, характеризующие верхние границы областей С и В (на рис. 17 «Верхняя граница области С», «Верхняя граница области В», соответственно). Полученные прямые в точках 10 и 11 имеют перегибы. Перегиб в точке 10 характеризует допустимое однократное в течение года облучение работника из числа персонала эффективной дозой до 50 мЗв [125]. А перегиб в точке 11 – недопущение переоблучения персонала дозой свыше 1 Гр, вызывающей детерминированные последствия, проявляющиеся в виде поражения всего организма (острая лучевая болезнь) или отдельных его частей (катаракта хрусталика глаза, временная или постоянная стерилизация и др.).

Следует отметить, что разработанный вариант классификации радиационного риска возможных аварий для РОО в форме F-N диаграммы, основывается на требованиях международных и отечественных нормативных документов.

После нанесения на диаграмму данных о риске возможных аварий для рассматриваемого объекта можно судить об его уровне безопасности. Характе-

ризирующие безопасность объекта значения параметров могут быть получены на основе анализа статистических данных или оценок экспертной группы.

2.6. Сравнение предлагаемого метода с существующими методами

Предлагаемый метод имеет ряд весомых преимуществ и положительных сторон. Однако есть и недостатки. Чтобы оценить и то и другое, было проведено сравнение разработанной методики с альтернативными вариантами.

Как отмечалось ранее в проведенных к настоящему времени исследованиях рассмотрению подвергаются лишь отдельные этапы процесса анализа риска. Поэтому сравнение проводится с методами, используемыми на каждом этапе анализа отдельно.

Согласно концептуальной схеме компонента комплекса средств автоматизированного проектирования отвечающего за исследование безопасности проектируемого объекта содержащего опасные вещества (см. рисунок 9) этапы на которых было проведено сравнение:

- вероятностный анализ безопасности 1 уровня;
- количественная оценка последствий аварий;
- классификация риска аварий.

Вероятностный анализ безопасности 1 уровня

Как уже было отмечено в разделах 1.4 и 1.7 это наиболее проработанный этап процедуры анализа риска. В нашем случае используется метод построения «Дереьев отказов». Данный метод позволяет отображать конъюнктивность и дизъюнктивность условий обеспечения, мажоритарные структуры, последовательность событий. Важнейшим достоинством метода является то, что правильно построенное дерево позволяет исключить один из самых трудоемких этапов моделирования - преобразование логической функции в вероятностную.

Но есть и недостатки применения данного метода:

- громоздкость (число элементов ДО N всегда превышает количество элементов принципиальной схемы n и в общем случае стремится к величине количество элементов принципиальной схемы n и в общем случае стремится к величине $N = 2^n$);
- недопустимость (с точки зрения последующего этапа моделирования) наличия одинаковых элементов в различных ветвях;
- невозможность отображения немонотонных структур;
- трудность отображения условий подключения резервов;
- невозможность изображения логических циклов.

Часть указанных недостатков устраняется с помощью предлагаемого подхода формирования ДО, а именно первоначальное формирование таблиц

безопасности, характеризующих последовательность протекания аварии, и автоматическое построение ДО (что позволяет передать всю «черную» работу по созданию ДО компьютеру). Также предлагаемый подход позволяет разделить различные одинаковые элементы по различным ветвям с помощью ведения уточняющих сведений. В связи с тем, что в работе предлагается экспресс методология, позволяющая сделать консервативную оценку риска возможных аварий, которая в дальнейшем при необходимости может быть более детально исследована другими методами, остальные недостатки использования метода построения «Деревьев отказов» невелики.

Количественная оценка последствий аварий

В работе предлагается усовершенствованная методика, которая отвечает последним требованиям законодательства и позволяет с помощью соответствующих алгоритмов большинство расчетов проводить по полученным исходным данным. Указанное обстоятельство позволяет экономить время на проведении «рутинных» подсчетов. Также следует отметить, что предлагаемая методика позволяет учитывать экономическую оценку вреда для здоровья и жизни населения и персонала в соответствии с последними нормативными требованиями.

Классификация риска аварий

В предлагаемой методике учтены национальные и международные требования по классификации радиационных аварий, что в настоящий момент не реализовано больше ни в одном исследовании.

В дополнении остановимся на общих достоинствах предлагаемого метода:

1. Широкая применимость. Предлагаемый метод позволяет оценить риск аварий на объектах содержащих опасные вещества в различных отраслях экономики.
2. Быстрая укрупненная оценка. Это важно на начальных стадиях проектирования, когда информация об объекте проектирования неполная и нечеткая.
3. Низкие вычислительные затраты.
4. Результаты оценки понятны даже не специалисту. Итоговый результат нагляден в связи с представлением в виде диаграммы с выделенными областями. Это позволяет транслировать экспертные знания неподготовленному слушателю.
5. Реализован весь рассматриваемый этап проектирования объекта содержащего опасные вещества, а именно полный цикл анализа и классификации

сценариев проектных и запроектных аварий.

Однако, анализ будет неполным без перечисления недостатков модели:

1. Оценки субъективны. Поскольку исходные сведения вводятся человеком и возможны пропуски или ошибки. Для снижения влияния субъективизма можно перепроверять исходные сведения несколькими специалистами, выполняющими работы по проектированию объекта.

2. Метод опирается на неточные и неполные данные (т.е. данные имеющиеся у специалиста выполняющего анализ). Это вносит риск ошибки.

3. Используется укрупненная оценка, что может привести к излишней консервативности. Недостаток исключается параллельным применением более точных методов, причем в данном случае параллельные вычисления нужно проводить лишь для небольших узлов, которые вносят наибольший вклад в итоговый риск аварии, а не для объекта проектирования в целом.

2.7.Выводы

Анализ методов и средств решения задач выявления и классификации, имеющихся в ТС, опасностей позволил разработать единую схему проведения проектных процедур в области анализа риска возможных аварий в проектируемых ТС содержащих опасные вещества, которая позволяет четко определить проектные процедуры поэтапное выполнение которых позволит разработать необходимую проектную документацию в области анализа риска аварий.

Основным достоинством указанной схемы является наличие этапа определения критериев безопасности, а также этапа ранжирования опасностей (классификации риска аварий) на основе выработанных критериев, что позволяет выявить наиболее критичные сценарии развития аварий, реализация которых возможна при принятых проектных решениях, для проведения корректирующих мероприятий с целью уменьшения их вероятности или тяжести последствий.

На основе единой схемы была разработана концептуальная схема компонента комплекса средств автоматизированного проектирования ТС содержащих опасные вещества, как основа системы анализа и предупреждения опасных событий.

Для выполнения одного из основных блоков концептуальной схемы «Количественная оценка последствий ОС» была разработана методика учета различных видов ущербов для населения, объектов техносферы и окружающей среды.

Данная методика позволяет проводить оценку вреда для здоровья людей в

результате аварии на РОО, используя данные радиационного воздействия и утвержденные нормативными документами величины ущерба, связанного с потерей одной человеческой жизни, и ущерба, связанного с нанесением вреда здоровью человека. Подобный подход устраняет один из наиболее важных и противоречивых вопросов во многих исследованиях по оценке риска и ущерба, а именно вопрос экономической оценки риска для здоровья и жизни человека.

Дополнительно с целью повышения качества и достоверности итоговых результатов анализа риска аварий был разработан и обоснован вариант классификации риска радиационных аварий в форме F-N диаграммы, который основывается на требованиях международных и отечественных нормативных документов.

После нанесения на диаграмму данных о риске возможных аварий для проектируемого объекта можно судить об его уровне безопасности. Характеризующие безопасность объекта значения параметров могут быть получены на основе анализа статистических данных или оценок экспертной группы.

Глава 3. ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИК

3.1. Компонент комплекса средств автоматизированного проектирования ТС содержащих опасные вещества

Основные принципы

На основе рассмотренного в главе 2 подхода к анализу риска опасных событий предлагается комплекс средств автоматизированного проектирования в области анализа риска аварий в ТС содержащих опасные вещества, который позволяет:

- снизить воздействие субъективного восприятия специалиста проводящего анализ на конечный результат исследования за счет:

- 1) алгоритмизации процесса составления вербальной модели безопасности проектируемого объекта;
- 2) реализации экспресс-метода анализа риска аварий, охватывающего все основные разделы анализа.

- сократить время проектирования ТС содержащих опасные вещества с помощью реализации в программном коде алгоритмов:

- 1) вывода отчетных документов в соответствии с требованиями нормативных документов;
- 2) расчета вероятности возникновения аварии;
- 3) расчета экономических последствий аварий;
- 4) расчета и классификации показателей риска.

Разработанный компонент комплекса средств автоматизированного проектирования ТС содержащих опасные вещества состоит из:

- 1) алгоритма формирования перечня ЭТСС и опасных событий [135];
- 2) алгоритма оценки риска аварий и их классификации.

Ниже подробно рассмотрены структура и элементы каждого из указанных алгоритмов.

Алгоритм формирования перечня ЭТСС и опасных событий

Данный алгоритм позволяет унифицировать процесс определения необходимых для рассмотрения опасных событий при анализе риска аварий в ТС.

На рисунке 18 упрощенно показаны основные блоки алгоритма и их

взаимосвязи (показаны стрелками), характеризующие передаваемую (или принимаемую) информацию от одной части к другой.

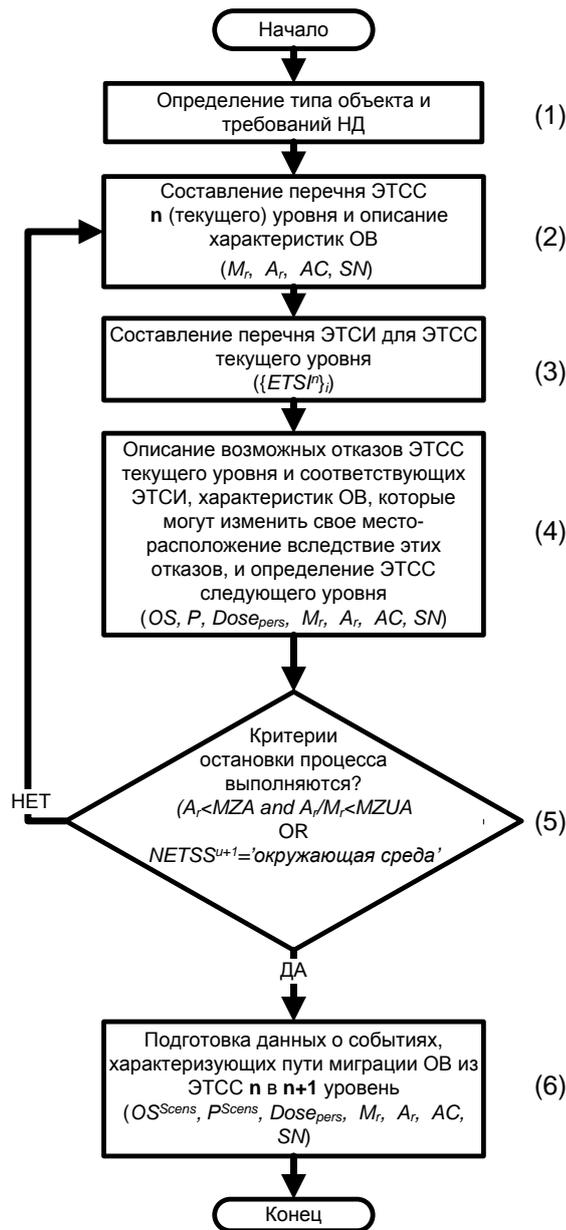


Рис. 18. Общая блок-схема алгоритма формирования перечня ЭТСС и опасных событий на ОПО.

«Определение типа объекта и требований НД»

В данном блоке происходит ввод первичной информации о типе объекта в соответствии со следующей классификацией ТС (в настоящий момент реализован учет типов ТС представленный ниже):

- пункт хранения РАО (в том числе ЖРО, ТРО);
- горячая камера;
- объект хранения ЯМ;
- объект хранения ОЯТ;
- транспорт РВ и ЯМ;

– производственный объект (в т.ч. лаборатория), использующая РВ и ЯМ;

– объект производства ТВС;

– исследовательская ядерная установка.

Данная информация позволяет провести первичный анализ нормативно-правовой документации, требования которой распространяются на выбранный для рассмотрения объект, и сформировать перечень исходных событий аварий рекомендованных для рассмотрения в соответствии с требованиями нормативных документов (НД) для данного вида объекта.

Нормативными документами предполагается следующая классификация исходных событий аварий, рекомендованная при проведении обоснования безопасности [118]:

– внешние воздействия техногенного происхождения (взрывы на соседних предприятиях, АЭС и т.п.);

– внешние воздействия природного происхождения (землетрясение, смерч, наводнение и т.д.);

– отказы систем и элементов ТС;

– ошибки персонала объекта.

Итогом выполнения данной части алгоритма является перечень исходных событий (причин возникновения) аварий рекомендованных для рассмотрения в соответствии с требованиями нормативных документов для данного вида проектируемого объекта, который включает в себя следующие сведения:

– тип ТС;

– ИС, связанные с внешним воздействием природного характера;

– ИС, связанные с внешним воздействием техногенного характера;

– ИС, связанные с отказом систем и элементов ТС;

– ИС, связанные с ошибками персонала;

– Наименование НД (нормативные документы, рекомендуемые для рассмотрения исходные события).

«Составление перечня ЭТСС n (текущего) уровня и описание характеристик ОБ (M_r, A_r, AC, SN)»

Вторая часть алгоритма направлена на определение всех возможных мест размещения опасных веществ, используемых либо хранящихся на опасном производственном объекте. В данном случае речь идет о принципиальной схеме глубокоэшелонированной защиты спроектированной на рассматриваемом объекте.

После перехода к блоку №2 первоначально происходит заполнение пе-

речня ЭТСС, в соответствии с требованиями нормативных документов, о необходимости их рассмотрения для данного типа проектируемого объекта. Далее специалисты дополняют этот перечень элементами ТС, содержащих (при нормальной эксплуатации или в случае аварий) опасные вещества (ОВ), хранящиеся или используемые на рассматриваемом объекте.

Главным итогом выполнения второй части алгоритма является реализация проектной процедуры по подготовке перечня ЭТСС, включающего в себя следующие составляющие:

- уровень ЭТСС (характеризует принципиальную схему глубокоэшелонированной защиты спроектированной на объекте);
- наименование ЭТСС (конкретное оборудование, выступающее в качестве ЭТСС);
- агрегатное состояние ОВ (агрегатное состояние ОВ, содержание которых возможно в ЭТСС) – АС;
- максимальное количество ОВ (максимальное для ЭТСС количество ОВ) – M_r ;
- максимальная активность ОВ (максимальная для ЭТСС активность ОВ (актуально для РОО)) – A_r ;
- радионуклидный состав (состав радионуклидов определяющий содержащиеся в ЭТСС ОВ) (актуально для РОО) – SN ;
- Наименование документа, определяющего максимальное количество и активность ОВ для рассматриваемого ЭТСС.

«Составление перечня ЭТСИ для ЭТСС текущего уровня»

В данном блоке алгоритма детальному анализу подвергаются элементы проектируемого объекта, изменение состояния которых способно привести к изменению объекта размещения (т.е. ЭТСС) ОВ, что позволяет определить требования к элементам подобного рода.

Также как и в предыдущем случае, после перехода к блоку №3 первоначально происходит заполнение перечня ЭТСИ, в соответствии с требованиями нормативных документов, о необходимости их рассмотрения для данного типа проектируемого объекта. Далее специалисты дополняют этот перечень конкретным оборудованием, используемым на рассматриваемом объекте.

Главным итогом выполнения второй части алгоритма является реализация проектной процедуры по подготовке перечня ЭТСИ, включающего в себя следующие составляющие:

- наименование ЭТСИ (конкретное оборудование, связанное с рас-

смаатриваемым ЭТСС, изменение состояния которого способно привести к изменению объекта размещения ОВ, согласно принятым проектным решениям);

– функция ЭТСИ (выполняемая в технологическом процессе функция ЭТСИ);

– наименование документа, определяющего процедуры использования ЭТСИ.

«Описание возможных отказов ЭТСС текущего уровня и соответствующих ЭТСИ, характеристик ОВ, которые могут изменить свое место расположение вследствие этих отказов, и определение ЭТСС следующего уровня»

При выполнении блока №4 каждый определенный в блоках № 2 и 3 ЭТСС и ЭТСИ анализируется на возможность отказа вследствие следующих причин: внешние природные и техногенные воздействия, отказы оборудования, ошибки персонала. Одним из важнейших результатов такого анализа является выявление опасных событий, способных привести к выходу ОВ за пределы элемента ТС их содержащего. Данное событие описывается вероятностью возникновения (P^{Eq}), характеристиками вышедших ОВ (AC , M_r , A_r , SN) и дозой воздействия ОВ на персонал, полученной при реализации опасного события с выходом ОВ ($Dose_{pers}^{Eq}$). После этого определяются ЭТСС следующего уровня (из которых возможен выход ОВ) и связанные с ними ЭТСИ, и анализ повторяется.

Следует отметить, что перечень ЭТСС (т.е. основной результат второй части алгоритма) дополняется определенными, после отказов ЭТСС (или ЭТСИ) с выходом ОВ, ЭТСС следующего уровня.

«Критерии остановки процесса выполняются?»

Критериями окончания процесса выявления всевозможных отказов ЭТСС и ЭТСИ являются (блок №5 рис.18):

1) Выход ОВ в ЭТСС n+1 уровня в количествах, которые ни при каких условиях не способны привести к негативному воздействию (для РОО в соответствии с НРБ-99/2009 [125] (т.е. $A_r < MZA$ and $A_r/M_r < MZUA$));

2) Выход ОВ в окружающую среду (т.е. $NETSS^{u+1} = \text{'окружающая среда'}$).

«Подготовка данных о событиях, характеризующих пути миграции ОВ из ЭТСС n в n+1 уровень (OS^{Scens} , P^{Scens} , $Dose_{pers}^{Scens}$, M_r , A_r , AC , SN)».

После определения всех возможных путей миграции ОВ из ЭТСС од-

ного уровня в другой информация, характеризующая эти события, передается в блок №6 БС, где описываются все возможные отказы ЭТСС и ЭТСИ, а также сценарии развития аварий. После этого проводится сравнение выявленных в ходе анализа опасных событий с подготовленным в первой части алгоритма перечнем и дополнение последнего.

Итогом выполнения последнего блока алгоритма является перечень опасных событий, сопровождающихся выходом опасных веществ за различные барьеры безопасности, который содержит следующие сведения:

- уровень ЭТСС;
- наименование ЭТСС;
- наименование ЭТСИ;
- тип отказа (внешнее природное или техногенное воздействие, отказ оборудования, ошибка персонала);
- описание отказа ЭТСС или связанного с ним ЭТСИ, при котором происходит выход ОВ за пределы рассматриваемого ЭТСС;
- вероятность отказа ЭТСС или связанного с ним ЭТСИ – P^{Eq} ;
- вероятность итогового события с выходом ОВ в ЭТСС n+1 уровня – P^{Scens} ;
- агрегатное состояние ОВ вышедших в следующий ЭТСС для рассматриваемого отказа – AC ;
- максимальное количество ОВ вышедших в следующий ЭТСС для рассматриваемого отказа – M_r ;
- максимальная активность ОВ вышедших в следующий ЭТСС для рассматриваемого отказа (актуально для РОО) – A_r ;
- радионуклидный состав (состав радионуклидов определяющий содержащиеся в ЭТСС следующего уровня ОВ) (актуально для РОО) – SN ;
- доза воздействия ОВ на персонал, полученная при реализации опасного события с выходом ОВ – $Dose_{pers}^{Eq}$;
- наименование ЭТСС следующего уровня – $NETSS$.

Указанные выше сведения передаются в качестве исходных данных в алгоритм оценки риска аварий и их классификации.

Алгоритм оценки риска аварий и их классификации

С помощью данного алгоритма происходит обработка информации об опасных событиях и построение сценариев аварий, сопровождающихся выходом опасных веществ за различные барьеры безопасности.

Общая схема алгоритма представлена на рис. 19.

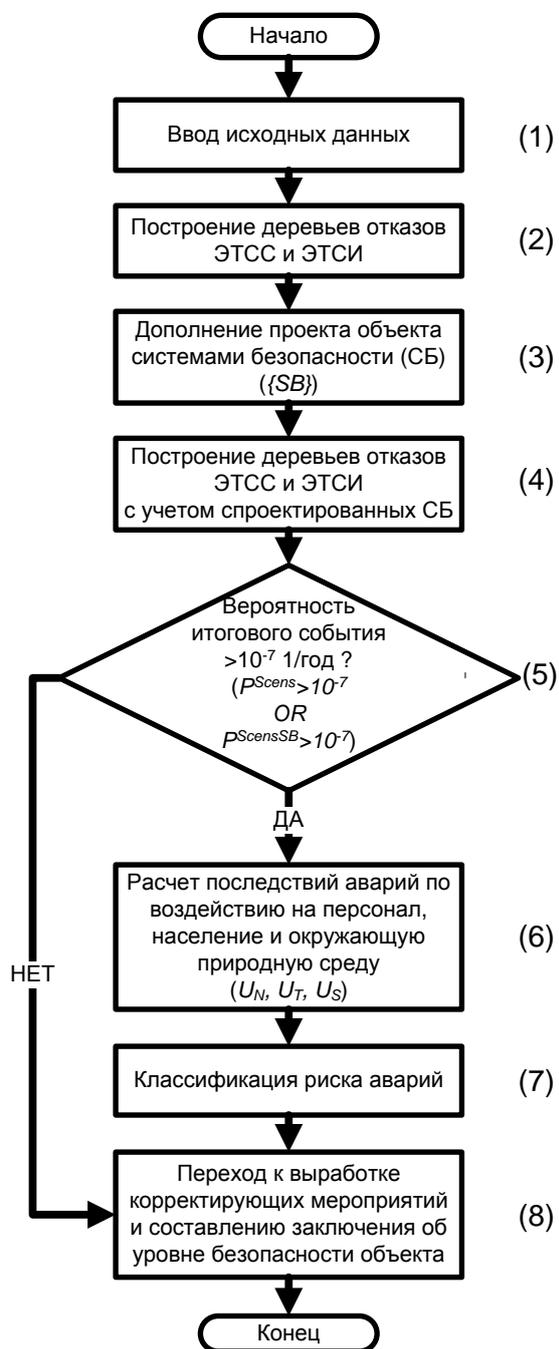


Рис. 19. Общая блок-схема алгоритма оценки риска аварий и их классификации.

Ввод исходных данных

Как уже указывалось выше исходными данными в данном случае являются результаты реализации алгоритма формирования перечня ЭТСС и опасных событий описанные выше, а именно:

- полный перечень ЭТСС, характеризующий спроектированный на рассматриваемом объекте принцип глубоководной защиты;
- перечень событий приводящих к выходу ОВ за пределы ЭТСС с указанием следующих характеристик: вероятность возникновения, вероятность итогового события, масса, активность (актуально для РОО), агрегатное состояние, радионуклидный состав (актуально для РОО) вышедших ОВ и доза воздействия ОВ на персонал (P^{Eq} , P^{Scens} , AC , M_r , A_r , SN , $Dose_{pers}^{Eq}$).

Построение деревьев отказов

Схема расчета ДО. В рамках данного подраздела совмещено описание процедуры формирования деревьев отказов, как для блока «Построение деревьев отказов ЭТСС и ЭТСИ», так и для блока «Построение деревьев отказов ЭТСС и ЭТСИ с учетом спроектированных систем безопасности (СБ)».

В рамках указанных блоков алгоритма выстраивается графическая модель безопасности проектируемого объекта, т.е. формализованное наглядное описание системы в виде графа.

В диссертационном исследовании для построения графической модели безопасности был выбран метод построения «дерева отказов (неисправностей)» (Fault Tree Analysis – анализ дерева неисправностей (отказов)) [122], так как данный метод удовлетворяет следующим требованиям:

- метод научно обоснован и соответствует рассматриваемым системам;
- метод дает результаты в виде, позволяющем лучше понять критические элементы системы и наметить пути снижения риска;
- метод повторяем и проверяем.

Схема расчета состоит из следующих этапов: на первом - оцениваются вероятности отдельных отказов и их взаимосвязи (с помощью логических операторов, используемых в Булевой алгебре), а затем, используя соответствующие операции алгебры логики, рассчитывается вероятность итогового

события. Таким путем можно быстро оценить влияние изменений характера происшествий на их частоту. Поэтому метод построения ДО обеспечивает простую возможность исследовать альтернативные проектные решения для обеспечения безопасности объекта.

ДО строится следующим образом. Рассматриваемое главное событие, характеризующее конечное состояние системы после ряда отказов (количество отказов зависит от того на каком шаге были выполнены критерии остановки процесса в блоке №5 алгоритма формирования перечня ЭТСС и ОС), изображается на вершине дерева. Далее при построении дерева логическая схема отталкивается от главного события. Исходная точка – это не причины, приведшие к событию, а само событие. И только задав событие, начинают исследование возможных причин его появления. Ветви дерева представляют собой пути, по которым событие может осуществиться, а связь между опасными событиями и главным событием осуществляется через условие, которое может иметь вид **AND (И)**, **OR (ИЛИ)**, **K-N (K из N)** (см. рис. 20).

Логическое условие **AND** означает, что вышестоящее событие возникает при одновременном наступлении нижестоящих событий [122] (соответствует перемножению их вероятностей для оценки вероятности вышестоящего события, т.е.: $P_F = P_A \cdot P_B$, где P_F , P_A и P_B – вероятность возникновения событий F, A и B, соответственно).

Логическое условие **OR** означает, что вышестоящее событие может произойти вследствие возникновения одного из нижестоящих событий [122] (соответствует сложению их вероятностей для оценки вероятности вышестоящего события, т.е.: $P_H = P_F + P_G$, где P_H , P_F и P_G – вероятность возникновения событий H, F и G, соответственно).

Относительно оператора **K-N** следует отметить, что он используется для моделирования резервированных систем безопасности, применяемых на ОПО. Например, для трехканальной системы, если для успешного выполнения ее функции достаточно срабатывания только двух любых каналов, структура ДО с оператором 2-из-3 представлена на рисунке 21 (справа внизу обве-

дена штриховой линией). Для нее достаточно просто построить эквивалентное ДО только на основе операторов **AND** и **OR** (см. рисунок 21).

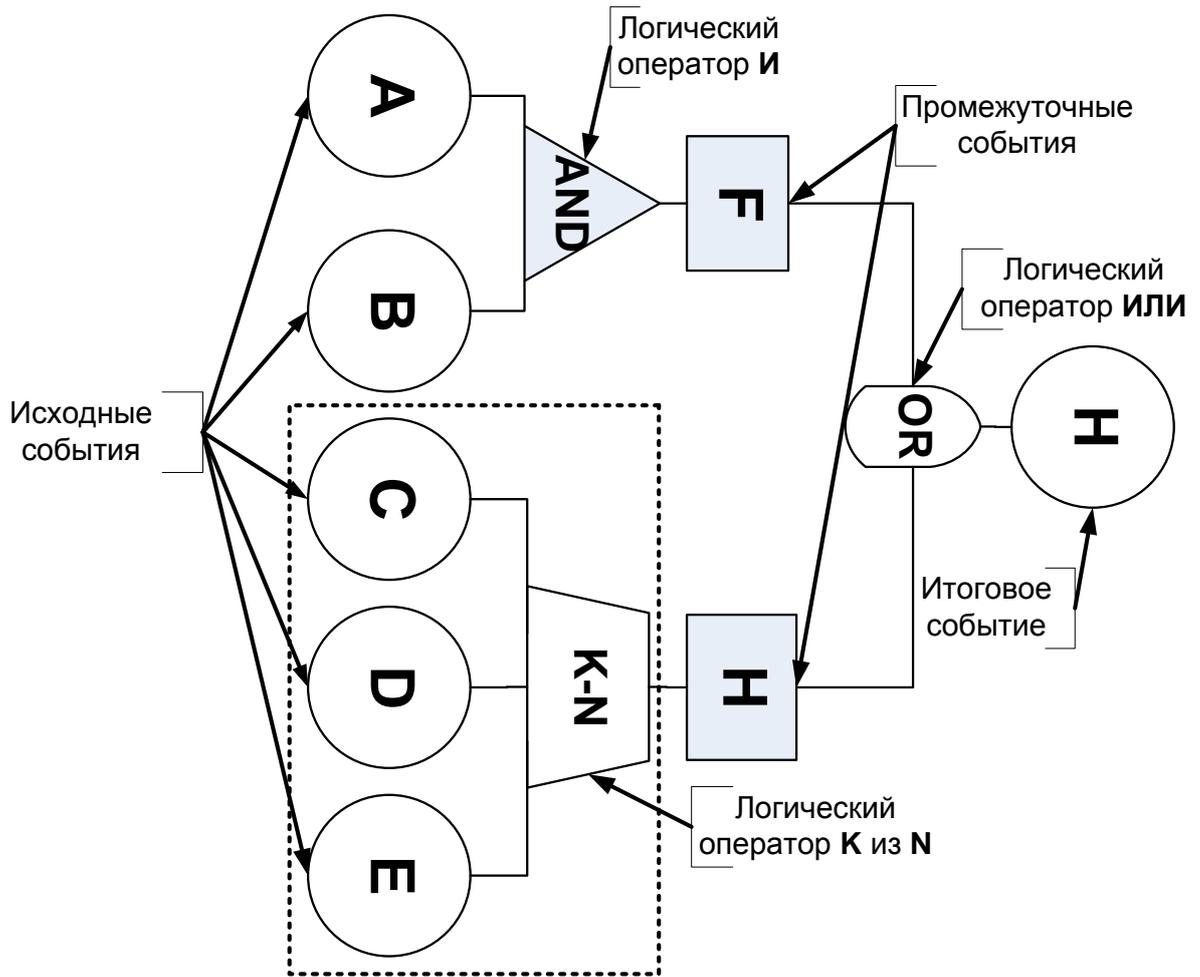


Рис. 20. Структура дерева отказов.

Логическое уравнение, раскрывающее представленное на рисунке 21 ДО в терминах Булевой алгебры может быть представлено следующей формулой:

$$P_G = (P_C \cdot P_D) + (P_C \cdot P_E) + (P_D \cdot P_E), \quad (3.1)$$

где P_C , P_D , P_E и P_G – вероятность возникновения событий C, D, E и G, соответственно.

Границы систем. Одним из основных требований при создании ДО является обязательность установления четко определенных границ систем, то есть должны быть определены те элементы (единицы оборудования), которые относятся к данной системе, и, которые относятся к другим системам. В

данном исследовании данное условие выполняется при составлении перечня ЭТСС и ЭТСИ для рассматриваемого объекта.

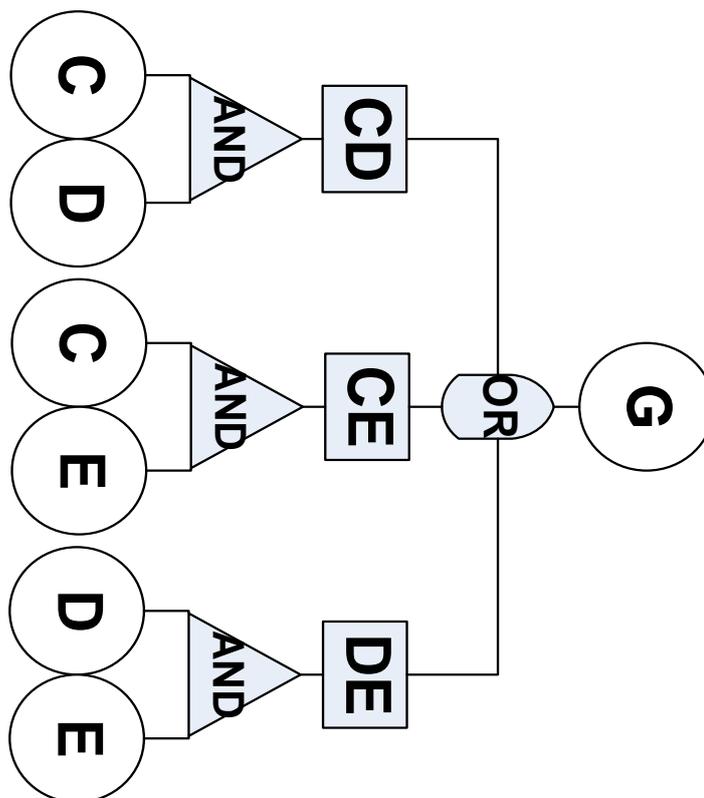


Рис. 21. Пример логического эквивалента оператора К-Н.

При определении границ систем необходимо следовать границам систем, принятым на проектируемом объекте. Следует отметить, что в нескольких ДО могут появиться общие элементы. Во избежание повторения одинаковых аварийных последовательностей, при описании идентичных отказов необходимо использовать одинаковые имена базовых событий таких элементов.

Допущения и ограничения анализа. В данной работе при построении ДО используются следующие допущения и ограничения: 1) не учитываются отказы трубопроводов на ответвлениях потоков жидкостей с диаметром меньше 1/3 диаметра основного потока; 2) не моделируется оборудование, используемое только для испытаний системы; 3) Опасные события, связанные с отказами оборудования и конструкций ТС рассматриваются как совместные и независимые.

Дополнение проекта объекта системами безопасности (СБ)

В рамках блока №3 алгоритма происходит дополнение исходного проекта ТС, построенной на основе проекта, спроектированными (либо рассматриваемыми для внедрения) системами безопасности (СБ).

Данный процесс выполняется следующим образом. Во-первых, из перечней ЭТСС и ЭТСИ выбирается конкретное оборудование, контроль параметров которого производится. Далее описываются следующие характеристики системы безопасности:

- наименование СБ (датчик, установка, оборудование и т.п.);
- контролируемые параметры (давление, мощность экспозиционной дозы, общая удельная альфа активность и т.д.);
- диапазон измерений (берется из описания устройства);
- тип контроля (автоматический, в ручную);
- периодичность контроля (1 раз/год, 1 раз/мин и т.п.);
- источник информации о контроле;
- наличие и описание дублирования информации с устройства (пример, дополнительный вывод информации с устройства на щит оператора);
- вид отказа СБ;
- краткое описание отказа СБ;
- вероятность отказа СБ – P^{SB} (расчет производится в соответствии с подходом, описанном в пункте 2.3);
- связь СБ с ЭТСС или ЭТСИ (в данном случае речь идет об оборудовании контроль параметров которого проводится СБ).

Следует отметить, что после дополнения проекта ТС системами безопасности происходит автоматический пересчет итоговой вероятности аварий с учетом отказов СБ.

Вероятность итогового события $>10^{-7}$ 1/год?

При выполнении данного блока алгоритма происходит составление перечня отказов ЭТСС и ЭТСИ, вероятность которых после дополнения проекта ТС системами безопасности уменьшилась до величины меньше 10^{-7} 1/год.

Указанный перечень необходим для оценки эффективности спроектированных систем безопасности для проекта ТС, с точки зрения своевременности выявления и устранения последствий отказов ЭТСС и ЭТСИ.

Расчет последствий аварий по воздействию на персонал, население и окружающую природную среду

В рамках блока №6 происходит оценка воздействий последствий возможных аварий на персонал, население, объекты техносферы и окружающую среду в соответствии с методикой расчета, описанной в пункте 2.4.

Классификация риска аварий

Процедура классификации риска возможных аварий на проектируемом объекте в настоящем исследовании реализована только для радиационно опасных объектов и основана на подходе, описанном в разделе 2.5.

Переход к выработке корректирующих мероприятий и составлению заключения об уровне безопасности объекта

На данном этапе используются сведения о путях реализации аварий и их ранжирования для выработки общих предложений по проведению корректирующих мероприятий и определения сроков их проведения.

3.2. Программный комплекс анализа риска аварий в ТС

Структурная схема программного комплекса

Разработанные алгоритмы позволили создать программный комплекс моделирования опасных событий и выработки вариантов проектных решений по обеспечению безопасности ТС содержащих опасные вещества с целью не превышения допустимых уровней воздействия на людей, объекты техносферы и окружающую среду.

Программный комплекс является компонентом комплекса средств автоматизированного проектирования реализующим этап проектирования связанный с анализом риска аварий на проектируемом объекте. Структурная схема указанной проектирующей подсистемы, представленной на рисунке 22 [137].

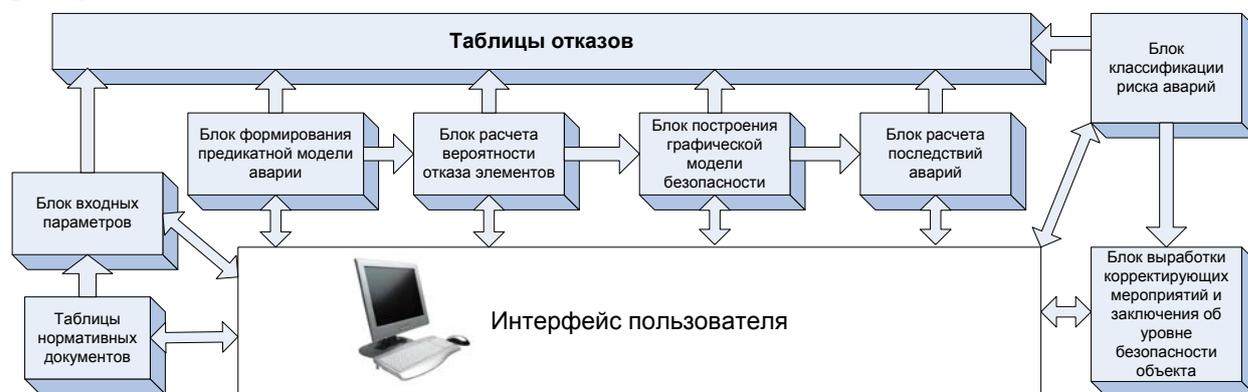


Рис. 22. Структурная схема программного комплекса анализа риска аварий на проектируемом объекте.

Программный комплекс «ANALYSIS AND PREVENTION OF EMERGENCY SITUATIONS ON THE OBJECTS OF THE NUCLEAR FUEL

CYCLE» (ПК APES ONFC) имеет модульную структуру, при которой, каждая отдельная подзадача (в соответствии с концептуальной схемой, см. рис. 9) реализуется отдельным модулем. Это не только повышает гибкость, но и позволит со временем нарастить возможности всей системы. В 2012 году ПК APES ONFC прошел государственную регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012618644 от 21.09.2012 [138]).

Полное описание ПК APES ONFC представлено в приложении 2.

3.3.Выводы

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

Во-первых, в ходе исследований разработан комплекс средств автоматизированного проектирования в области анализа риска аварий в ТС содержащих опасные вещества, который позволяет:

- снизить воздействие субъективного восприятия специалиста проводящего анализ на конечный результат исследования за счет:

- 1) алгоритмизации процесса составления вербальной модели безопасности проектируемого объекта;
- 2) реализации экспресс-метода анализа риска аварий, охватывающего все основные разделы анализа.

- сократить время проектирования ТС содержащих опасные вещества с помощью реализации в программном коде алгоритмов:

- 1) вывода отчетных документов в соответствии с требованиями нормативных документов;
- 2) расчета вероятности возникновения аварии;
- 3) расчета экономических последствий аварий;
- 4) расчета и классификации показателей риска.

Программная реализация разработанных алгоритмов 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.

Глава 4. АПРОБИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ НА ПРАКТИКЕ

4.1. Анализ риска возможных аварий центрального хранилища для отработавших тепловыделяющих сборок

Выбор объекта исследования

Хранение отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) является одним из завершающих этапов топливного цикла атомной электростанции. Хранение ОЯТ должно обеспечивать снятие остаточного тепловыделения отработавшей тепловыделяющей сборки (ОТВС), защиту персонала и окружающей среды от ионизирующего излучения и выхода радиоактивных веществ в окружающую среду, физическую защиту отработавшего топлива [140]. Этим требованиям в полной мере отвечает хранение ОЯТ в водной среде (мокрый способ хранения), при котором происходит снижение остаточного тепловыделения до 2 – 10 кВт на ОТВС (уровень при котором возможно дальнейшее обращение с отработавшим топливом) и распад наиболее активных короткоживущих радионуклидов, таких как иод-131, ксенон-133 и др. Время необходимое для этого составляет 1 – 3 года в зависимости от типа ядерного топлива. Мокрое хранение ОЯТ энергетических реакторов осуществляется в приреакторных бассейнах выдержки, промежуточных хранилищах и отдельно стоящих хранилищах ОЯТ.

Многолетний опыт мокрого хранения ОЯТ доказал его надежность и удобство, особенно для уменьшения уровня радиационных нагрузок и тепловыделения отработавшего топлива непосредственно после выгрузки из реактора. Мокрое хранение позволяет осуществлять непосредственный контроль состояния топлива, его наличие. Параметры воды поддерживаются с помощью простых и надежных технологий. Вода обеспечивает необходимую биологическую защиту при хранении ОЯТ и выполнении технологических операций по загрузке топлива и выгрузке его из бассейнов [140].

В рамках проведения всесторонней оценки достоверности получаемых результатов, быстродействию работы и затратам ресурсов ПК APES ONFC проведено комплексное исследование ядерной и радиационной безопасности центрального хранилища отработавших тепловыделяющих сборок АО «ГНЦ НИИАР» (далее ЦХ ОТВС). Указанный проект выбран в связи с тем, что в открытых источниках наиболее полно представлена информация о технологических и организационных схемах реализованных на данном объекте [141-

147]. Однако данной информации недостаточно, поэтому в случаях, когда необходимая открытая информации по указанному объекту отсутствовала, в работе использовалось мнение экспертов по возможным вариантам конструкции и построения технологических и организационных схем, так как основной целью исследования является тестирование ПК APES ONFC.

Краткое описание объекта исследования

Использована информация согласно источника [147].

ЦХ ОТВС предназначено для приема, временного хранения и отправки на переработку ОТВС реакторных установок (РУ) ВК-50, СМ-3, МИР.М1, БОР-60, АСТ и пеналов с делящимися материалами после исследований тепловыделяющих сборок и представляет собой сооружение из трех железобетонных бассейнов, примыкающего к ним транспортного въезда и пристройки, в которой размещается установка очистки бассейновых вод и бытовые помещения. Имеет железнодорожную связь с РУ и находится в непосредственной близости от них, а так же имеет общую с РУ санитарно-защитную зону, зону наблюдения и защитную территорию.

Для выполнения транспортно-технологических операций в хранилище имеются три бассейна № 1, 2, 3, транспортный коридор и установка очистки бассейновых вод. Здание оснащено крановой тележкой грузоподъемностью 100 тонн, а также мостовым краном грузоподъемностью 15 тонн.

Бассейны № 1 и № 2 являются хранилищами ОТВС и пеналов с обрезками ОТВС, бассейн № 3 служит для установки контейнеров и загрузки или выгрузки из них ОТВС. Бассейн № 3 отсекается от бассейнов № 1 и 2 гидрозатворами. Бассейны заполнены дистиллированной водой. Все транспортно-технологические операции выполняются под слоем воды для защиты персонала от ионизирующего излучения.

В здании хранилища имеется установка очистки бассейновых вод для снижения радиоактивности на перлитовых, песчаном и ионообменных фильтрах.

Бассейны № 1 и № 2 идентичны и облицованы изнутри листовой углеродистой сталью, покрытой эпоксидно-пенным составом по металлизированной Al поверхности.

Параметры бассейна:

- Длина 40,6 м;
- Ширина 7,0 м;
- Высота 7,0 м;

- Относительная отметка дна 1,7 м;
- Высота для воды (5,8+0,2) м;
- Объем одного бассейна 1700 м³;
- Толщина стен и днища из тяжелого ж/б 0,8 м;
- Толщина перемышки между бассейнами 1,2 м.

Бассейн № 3 отделяется от бассейнов № 1 и № 2 гидрозатворами и состоит из двух частей: приемной камеры для установки транспортных контейнеров и перегрузочной камеры.

Параметры бассейна:

- Длина 15 м;
- Ширина 4,3 м;
- Высота 10 м;
- Относительная отметка дна 5,2 м;
- Объем воды 500 м³.

В бассейнах № 1 и 2 для каждого типа ОТВС определены соответствующие места. Для надежной фиксации чехлов с ОТВС БОР-60, МИР, СМ, АСТ и пеналов ОРМ и предотвращения их опрокидывания в бассейнах смонтированы гнезда, соединенные между собой в секции. Секции закреплены к облицовке бассейна.

Гнезда представляют собой вертикально установленные трубы с прорезями в нижней части для лучшего охлаждения чехлов водой и разделены на типы по диаметру в соответствии с диаметрами чехлов исследовательских реакторных установок НИИАР.

Чехлы тип 16 с ОТВС ВК-50, АСТ и пеналами ОРМ устанавливаются непосредственно на дно бассейна. На отметке +5,3 м все три бассейна имеют щелевые перекрытия, которые смонтированы на швеллерах, забетонированных одним концом в стены бассейнов. Перекрытия имеют центральную продольную щель и поперечные щели, закрываемые съемными крышками.

ОТВС реакторных установок транспортируются по территории промплощадки № 1 в защитных контейнерах на спецавтомашине марки БЕЛАЗ, оборудованной специально для этих операций и имеющей санитарный паспорт о соответствии условий и способов транспортировки РВ и ЯМ, устройств и установок с источниками излучения и радиоактивных отходов санитарным правилам. Так же для транспортировки ОТВС используется ж/д платформа.

В нормальных условиях эксплуатации хранилища для ОТВС исключается выход радиоактивных продуктов во внешнюю среду выше установлен-

ных норм. Оборудование и защитные сооружения объекта рассчитаны на возможность эксплуатации в пределах проектных значений природных воздействий. В пределах этих значений сохраняется целостность всех защитных барьеров: контейнеров, чехлов, трубопроводов, бассейнов, зданий. Повреждение или разрушение барьеров возможно лишь в случае превышения проектных значений природных воздействий. Практически исключена вероятность разрушения здания и оборудования вследствие техногенного воздействия на объекте и территории промплощадки.

Благодаря организованной на объекте и промплощадке многоуровневой системе защиты от проникновения на территорию посторонних лиц диверсионные акты маловероятны.

Отключение электроэнергии по причине природного или техногенного воздействия не приведёт к неконтролируемому выбросу радиоактивных продуктов во внешнюю среду. На здании останется разряжение за счёт тяги высотной трубы вентиляционного центра даже при отключении вентиляторов вентиляционной системы объекта [144].

Начало работы с ПК APES ONFC

ANALYSIS AND PREVENTION OF EMERGENCY SITUATIONS ON THE OBJECTS OF THE NUCLEAR FUEL CYCLE

Определение целей анализа риска

Наименование проекта

Введите название работы, год, наименование объекта исследования, эксплуатирующую организацию и вид объекта выбранного для проведения процедуры обоснования

Название работы
Комплексное исследование ядерной и радиационной безопасности ЦХ ОТВС

Наименование объекта исследования
Хранилище ОЯТ

Эксплуатирующая организация
ОАО "ГНЦ НИИАР"

пункт хранения РАО (в том числе ЖРО, ТРО)

горячая камера

объект хранения ядерных материалов (ЯМ)

объект хранения отработанного ядерного топлива (ОЯТ):

транспорт радиоактивных веществ (РВ) и ЯМ

исследовательская ядерная установка

объект производства тепловыделяющих сборок (ТВС)

производственный объект (в т.ч. лаборатория), использующий РВ и/или ЯМ

Изменить

Сохранить

Удалить

< Назад Далее > Закрыть

Рис. 23. Форма «Наименование проекта».

На рисунке 23 представлена заполненная форма «Наименование проекта» для текущей работы.

Требования нормативных документов, предъявляемые к объектам подобного рода, изложены в [124, 148-151]. На рисунке 24 представлен перечень исходных событий аварий рекомендованных для рассмотрения в соответствии с требованиями нормативных документов для данного вида объекта.

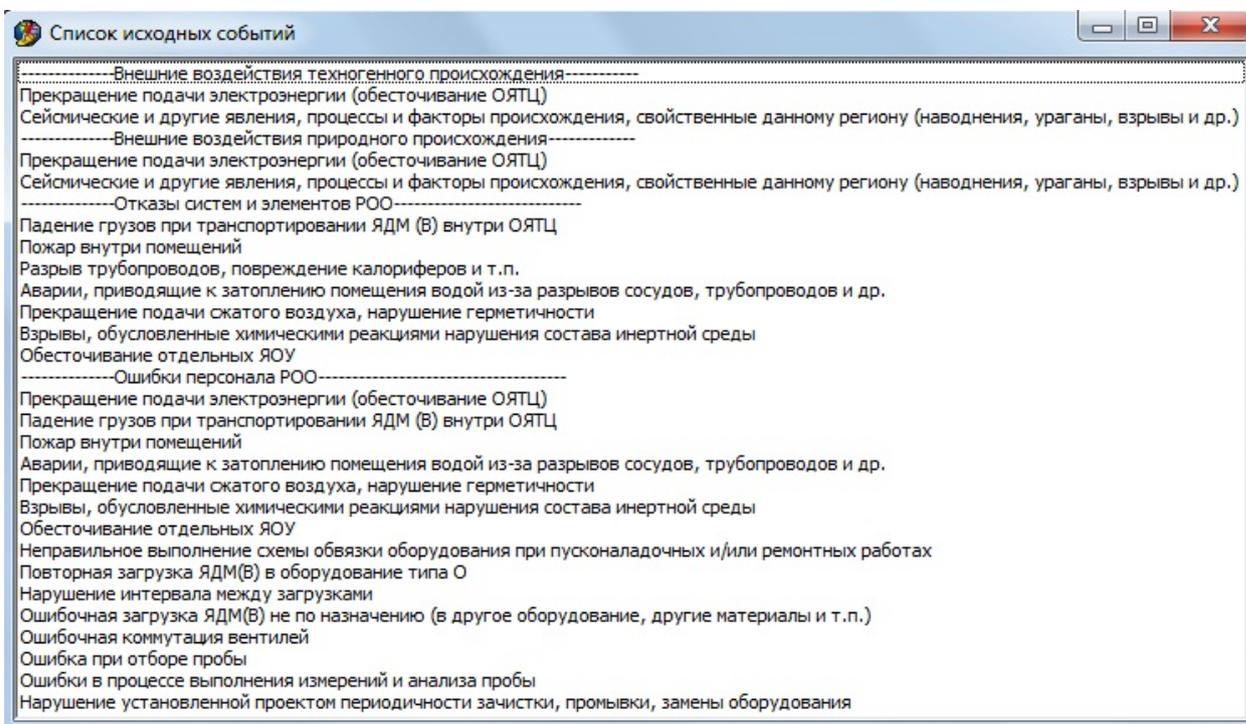


Рис. 24. Перечень исходных событий аварий рекомендованных для рассмотрения в соответствии с требованиями нормативных документов для хранилища ОЯТ.

Составление перечня ЭТСС и ЭТСИ для хранилища ОЯТ

На рисунке 25 представлен поперечный разрез здания хранилища ОЯТ [145], который был взят за основу при определении ЭТСС.

Проведённый анализ открытых источников [141-147], а также мнение экспертов по возможной детализации вариантов конструкции и построения технологических и организационных схем всех возможных мест размещения радиоактивных веществ и ядерных материалов, используемых либо хранящихся на рассматриваемом радиационно-опасном объекте, позволил составить перечень ЭТСС. После чего были определены также все ЭТСИ.

Следует отметить, что радионуклидный состав ОЯТ был определён исходя из предположения, что состав ОЯТ одинаков для всех типов ОТВС и определён из [141, 143] (таблица 11).

В связи с отсутствием официальной информации о количестве ОЯТ хранящегося в ЦХ ОТВС предположим, что максимальная удельная активность топлива составляет 10^{17} Бк/т [143]. Соответственно общее количество

ОЯТ составляет 1420 кг, а на одну ОТВС приходится 4,46 кг ОЯТ [141]. Количество ОТВС в контейнере типа А 18 штук, в контейнере типа В 16 штук. В соответствии с [144] удельная активность воды бассейнов на 90 % определяется ^{137}Cs и составляет примерно $4 \cdot 10^6$ Бк/кг.

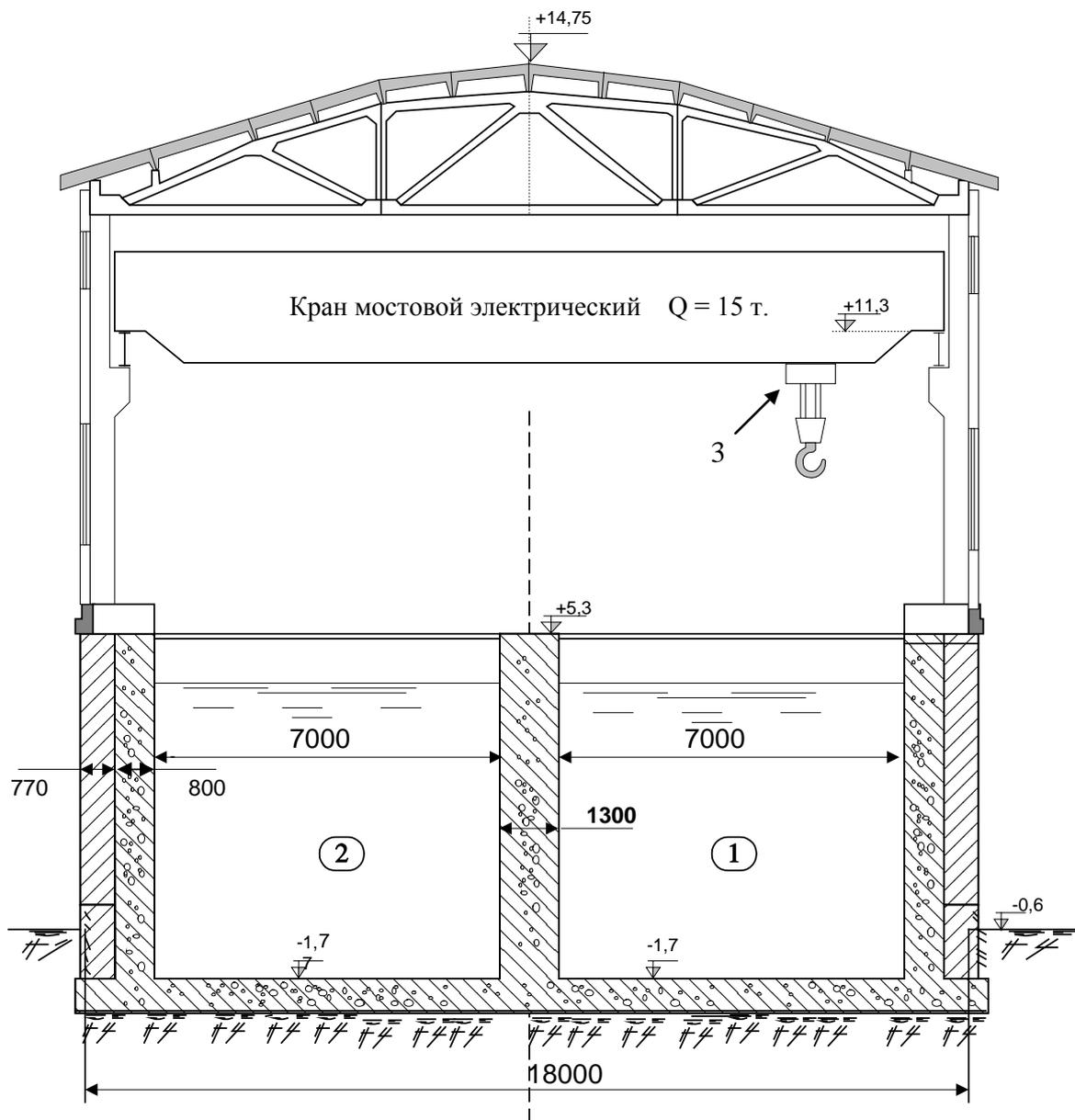


Рис. 25. Поперечный разрез здания ЦХ ОТВС: 1) Бассейн № 1 облицован изнутри листовой углеродистой сталью, покрытой эпоксидно-пенным составом по металлизированной Al поверхности; 2) Бассейн № 2 облицован изнутри листовой углеродистой сталью, покрытой эпоксидно-пенным составом по металлизированной Al поверхности; 3) Мостовой кран грузоподъемностью 15 тонн.

Таблица 11 – Радионуклидный состав ОЯТ.

№	Радионуклид	% содержания	Активность
1	Cs-137	13	1,84E+16

№	Радионуклид	% содержания	Активность
2	Ba-137m	12	1,70E+16
3	Ce-144	11	1,56E+16
4	Pr-144	10	1,42E+16
5	Sr-90	9	1,28E+16
6	Y-90	9	1,28E+16
7	Ru-106	8	1,13E+16
8	Rh-106	8	1,13E+16
9	Pm-147	10	1,42E+16
10	Cs-134	7	9,93E+15
11	Kr-85	1	1,42E+15
12	Eu-154	1	1,42E+15
13	Eu-155	1	1,42E+15
	Итого	100	1,42E+17

Перечень ЭТСС и ЭТСИ ЦХ ОТВС в ПК APES ONFC представлен на рисунке 26.

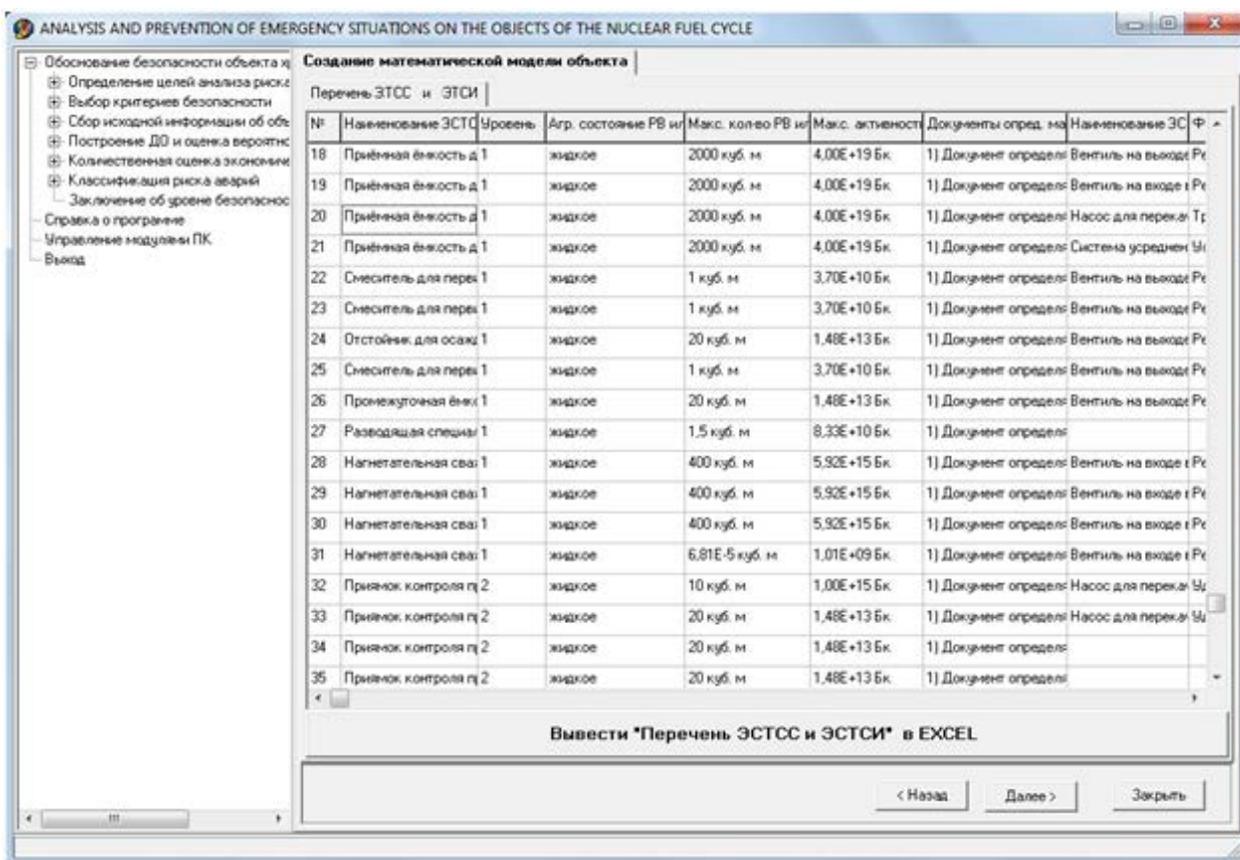


Рис. 26. Перечень ЭТСС и ЭТСИ ЦХ ОТВС в ПК APES ONFC.

В таблице 12 представлен перечень ЭТСС и ЭТСИ ЦХ ОТВС.

Таблица 12 – Перечень ЭТСС и ЭТСИ ЦХ ОТВС.

№ п/п	Наименование ЭТСС	Уровень ЭТСС	Агрегатное состояние ОВ	Макс. кол-во ОВ	Макс. активность ОВ	Документы опред. макс. кол-во и активность	Наименование ЭТСИ	Функция ЭТСИ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Трубная сеть транспортировки ЖРО (ТСТ)	1	жидкое	10 куб. м	2,50Е+10 Бк/куб.м	Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов объектов ядерного топливного цикла (НП-070-06)	Насос перекачки ЖРО по ТСТ	Перекачка ЖРО при повышении уровня в бассейнах
2	Бассейн выдержки ОТВС (БВ-1)	1	жидкое	1705,2 куб. м	4,26Е+12 Бк/куб.м	Эксплуатационная документация ЦХ ОТВС	Насос циркуляционный Ц-1	Циркуляция воды в бассейнах ЦХ ОТВС
3	Бассейн выдержки ОТВС (БВ-1)	1	жидкое	1705,2 куб. м	4,26Е+12 Бк/куб.м	Эксплуатационная документация ЦХ ОТВС	Гидрозатвор БВ-1-ПБ	Устройство изоляции ПБ от БВ-1

№ п/п	Наименование ЭТСС	Уровень ЭТСС	Агрегатное состояние ОВ	Макс. кол-во ОВ	Макс. активность ОВ	Документы опред. макс. кол-во и активность	Наименование ЭТСИ	Функция ЭТСИ
4	Бассейн выдержки ОТВС (БВ-1)	1	жидкое	1705,2 куб. м	4,26Е+12 Бк/куб.м	Эксплуатационная документация ЦХ ОТВС	Насос перекачки ЖРО по ТСТ	Перекачка воды из бассейна при повышении уровня
5	Бассейн выдержки ОТВС (БВ-2)	1	жидкое	1705,2 куб. м	4,26Е+12 Бк/куб.м	Эксплуатационная документация ЦХ ОТВС	Насос циркуляционный Ц-1	Циркуляция воды в бассейнах
6	Бассейн выдержки ОТВС (БВ-2)	1	жидкое	1705,2 куб. м	4,26Е+12 Бк/куб.м	Эксплуатационная документация ЦХ ОТВС	Гидрозатвор БВ-2-ПБ	Гидроизоляция ПБ от БВ-2
7	Контейнер для перевозки ОЯТ типа А (КА-1)	1	твердое	80,3 кг	1,85Е+17 Бк/кг	Эксплуатационная документация контейнеров типа А	Крышка контейнера типа А	Герметизация контейнера типа А и обеспечение доступа воды в контейнер при хранении
8	Контейнер для перевозки ОЯТ типа А (КА-1)	1	твердое	80,3 кг	1,85Е+17 Бк/кг	Эксплуатационная документация контейнеров типа А	Мостовой кран М-1	Транспортировка контейнеров в бассейнах хранения

№ п/п	Наименование ЭТСС	Уровень ЭТСС	Агрегатное состояние ОВ	Макс. кол-во ОВ	Макс. активность ОВ	Документы опред. макс. кол-во и активность	Наименование ЭТСИ	Функция ЭТСИ
9	Контейнер для перевозки ОЯТ типа В (КВ-1)	1	твердое	71,3 кг	1,43Е+17 Бк/кг	Эксплуатационная документация контейнеров типа В		
10	Перегрузочный бассейн (ПБ)	1	жидкое	500 куб. м	1,25Е+12 Бк/куб.м	Эксплуатационная документация перегрузочного бассейна	Мостовой кран М-1	Транспортировка чехлов с ОТВС в бассейнах
11	Контейнер для сбора фильтра с УВ (КФ-1)	1	жидкое	5 куб. м	2,55Е+09 Бк/куб.м	Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов объектов ядерного топливного цикла (НП-070-06)		

№ п/п	Наименование ЭТСС	Уровень ЭТСС	Агрегатное состояние ОВ	Макс. кол-во ОВ	Макс. активность ОВ	Документы опред. макс. кол-во и активность	Наименование ЭТСИ	Функция ЭТСИ
12	Трубная сеть транспортировки ЖРО (ТСТ)	1	жидкое	100 куб. м	2,50Е+13 Бк/куб.м	Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов объектов ядерного топливного цикла (НП-070-06)	Задвижка на ТСТ	Перекрытие потока перекачиваемой воды для помещения 101
13	Контейнер для перевозки ОЯТ типа А (КА-1)	1	твердое	100 кг	2,50Е+16 Бк/кг	Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов объектов ядерного топливного цикла (НП-070-06)	Мостовой кран М-1	Транспортировка Контейнеров в ЦХ ОТВС

№ п/п	Наименование ЭТСС	Уровень ЭТСС	Агрегатное состояние ОВ	Макс. кол-во ОВ	Макс. активность ОВ	Документы опред. макс. кол-во и активность	Наименование ЭТСИ	Функция ЭТСИ
14	контейнер для ТРО	1	твердое	20 кг	2,60Е+13 Бк/кг	Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов объектов ядерного топливного цикла (НП-070-06)		
15	Вентиляционная система В-2	2	газообразное	288 куб. м	2,53Е+13 Бк/куб.м	Эксплуатационная карта вентиляционной системы В-2	Вентилятор НР В-2	Осуществляет циркуляцию воздуха в приемном помещении с последующим выбросом через В-2
16	Вентиляционная система В-1	2	газообразное	10 куб. м	2,50Е+12 Бк/куб.м	Эксплуатационная карта вентиляционной системы В-1	Фильтр ПД В-1	Производит фильтрацию выбрасываемых через В-1 РВ

Построение ДО и оценка вероятности аварий в ЦХ ОТВС

Возможные отказы ЭТСС и ЭТСИ

Определенные на предыдущем уровне ЭТСС и ЭТСИ были проанализированы на возможность отказа вследствие следующих причин: внешние природные и техногенные воздействия, отказы оборудования, ошибки персонала. В результате была сформирована таблица 13, в которой представлен перечень событий, способных привести к выходу ОВ за пределы ЭТСС. Каждое событие характеризуется вероятностью возникновения и характеристиками вышедших ОВ, а также наименованием ЭТСС следующего уровня.

Таблица 13 –Перечень возможных опасных событий в ЦХ ОТВС.

№ п/п	Опасное событие	Краткое описание события	Агрегатное состояние	Количество вышедших ОВ	Активность вышедших ОВ	Эффективная доза облучения персонала, мЗв
1	течь	При эксплуатации ТСТ произошла разгерметизация трубной сети в	жидкое	1 куб.м	2,50E+09 Бк/куб.м	0 мЗв
2	разрыв	Произошел разрыв ТСТ в результате чего в помещении 101 вышло 10	газообразное	10 куб.м	2,50E+12 Бк/куб.м	20 мЗв/ч
3	отказ сохранить положение	В результате отказа задвиги произошел выход ЖРО из ТСТ в	газообразное	10 куб.м	2,50E+12 Бк/куб.м	20 мЗв/ч
4	Возгорание низкоактивных ТРО в приемочном помещении	В результате нарушения пожарной безопасности персонал	газообразное	288 куб.м	2,53E+13 Бк/куб.м	1 мЗв/ч
5	отказ при работе	Произошел внутренний отказ мостового крана, который привел к	газообразное	288 куб.м	2,53E+13 Бк/куб.м	50 мЗв/ч
6	невыполнение функции	Отказ фильтра в следствии внутренних причин. Выброс в	газообразное	10 куб.м	2,50E+13 Бк/куб.м	0 мЗв/ч
7	разрыв	Произошёл разрыв ТСТ в результате которого 50% раствора ЖРО по	жидкое	5 куб.м	1,25E+10 Бк/куб.м	0 мЗв
8	течь	В результате старения конструкций произошла разгерметизация	жидкое	700 л	1,26E+09 Бк/л	20 мЗв

№ п/п	Опасное событие	Краткое описание события	Агрегатное состояние	Количество вышедших ОВ	Активность вышедших ОВ	Эффективная доза облучения персонала, мЗв
9	невыполнение функции	В результате отказа по внутренним причинам гидрозатвор отказал и	жидкое	500 куб.м	1,25E+12 Бк/л	50 мЗв
10	отказ при работе	В результате отказа мостового крана в период проведения	жидкое	1700 куб.м	5,44E+13 Бк/куб.м	20 мЗв
11	невыполнение функции	В результате отсутствия циркуляции из-за отказа вентилятора. По	газообразное	10 куб.м	2,50E+13 Бк/куб.м	0 мЗв/ч

Построение ДО для ЦХ ОТВС

После определения всех взаимосвязей опасных событий и расчета вероятностей промежуточных и итоговых вероятностей было получено ДО (см. рис. 27), характеризующее графическую модель безопасности ЦХ ОТВС.

Следует отметить, что в данной работе при построении ДО используются следующие допущения и ограничения: 1) не учитываются отказы трубопроводов на ответвлениях потоков жидкостей с диаметром меньше 1/3 диаметра основного потока; 2) не моделируется оборудование, используемое только для испытаний системы; 3) опасные события, связанные с отказами оборудования и конструкций РОО рассматриваются как совместные и независимые.

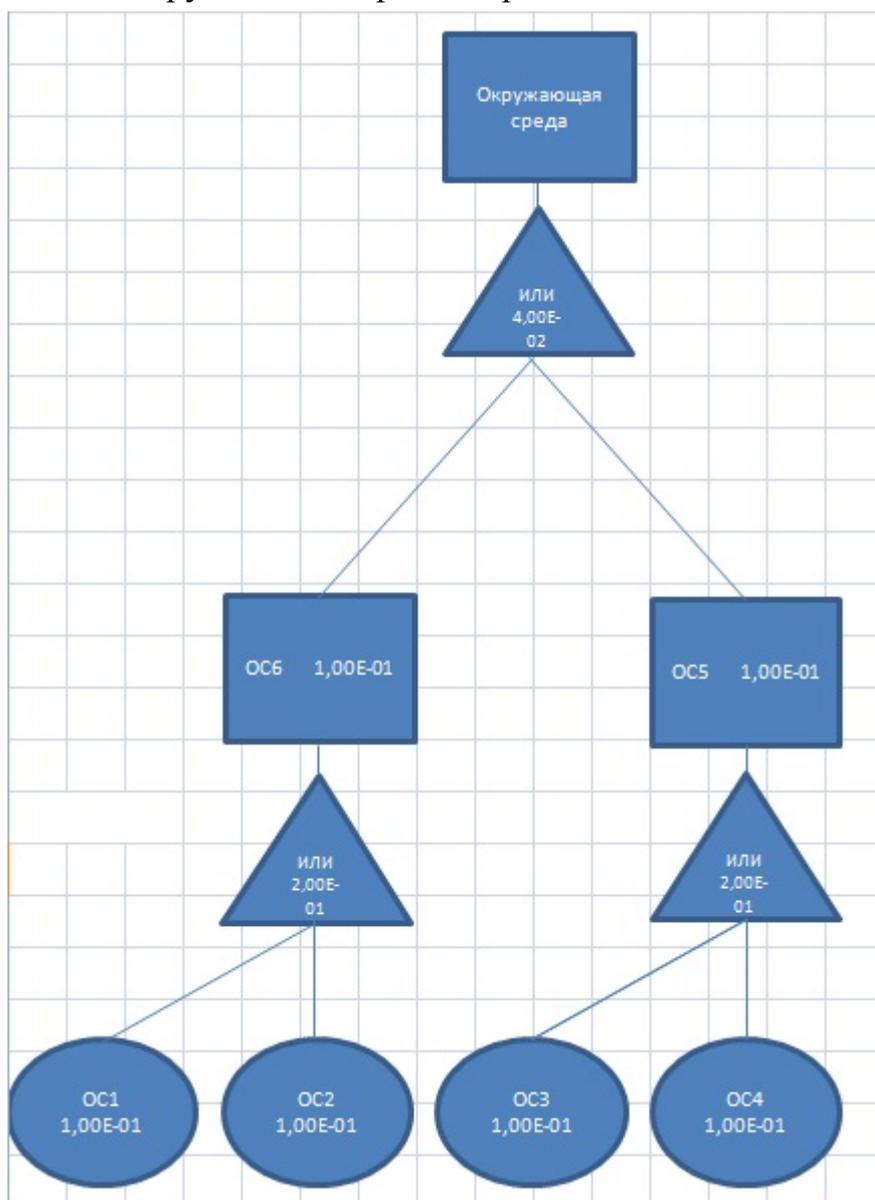


Рис. 27. ДО для ЦХ ОТВС

Дополнение модели объекта системами безопасности

После дополнения исходного проекта ЦХ ОТВС системами безопасности ДО описывающее возможную аварию было переработано следующим образом

(см. рис. 53-55).

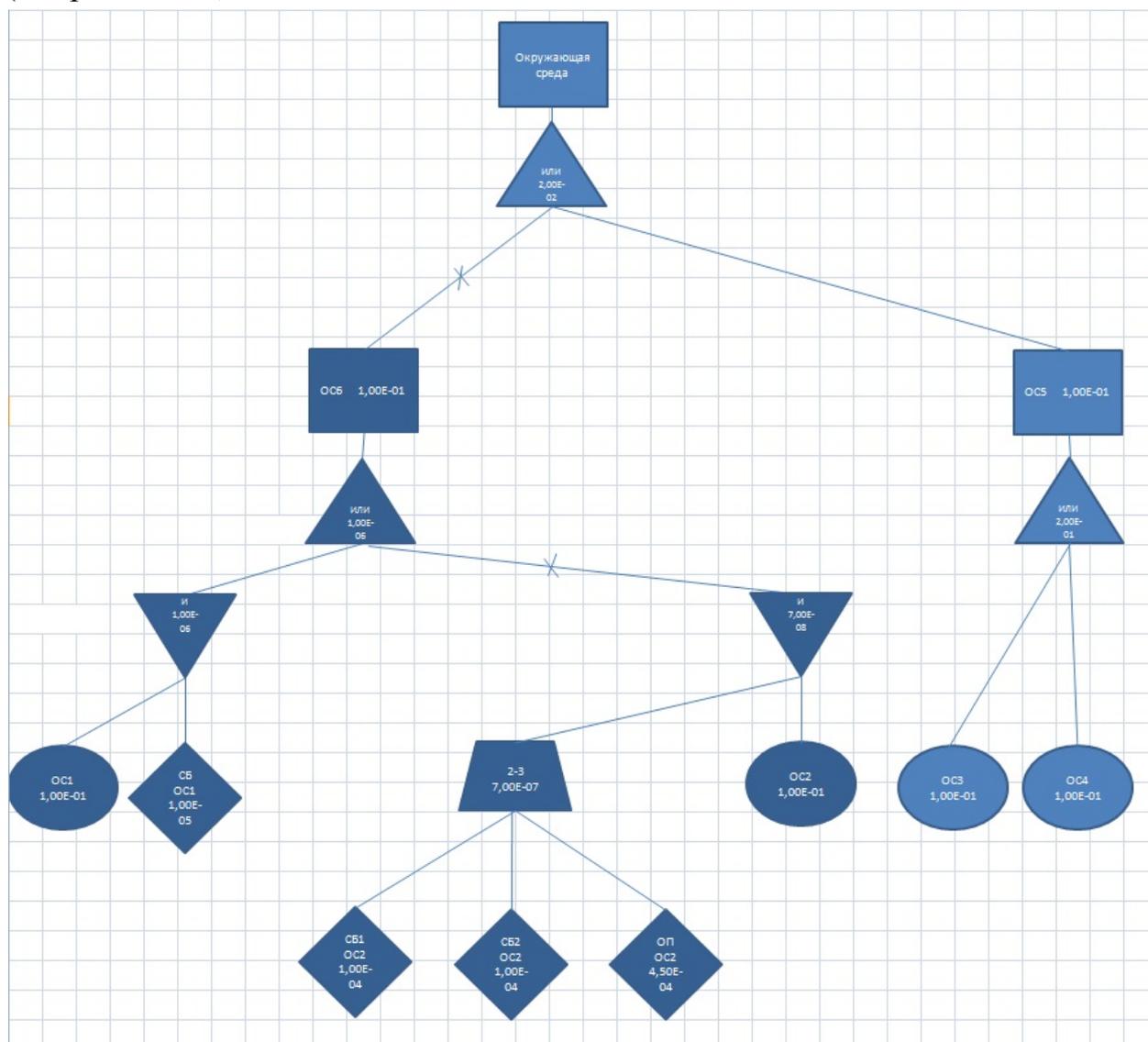


Рис. 28. «Дерево отказа» для аварии 1 с учетом СБ

Как видно из рисунка 28 ДО исходного проекта после добавления СБ разделилось на 2 ДО (см. рис. 29 и 30), т.к. по одному из путей достигнута вероятность реализации 10^{-7} 1/год. Также после добавления СБ несущественным становится событие ОС2, т.к. вероятность его реализации и при этом не обнаружение его СБ составляет $7,00E-08$ 1/год.

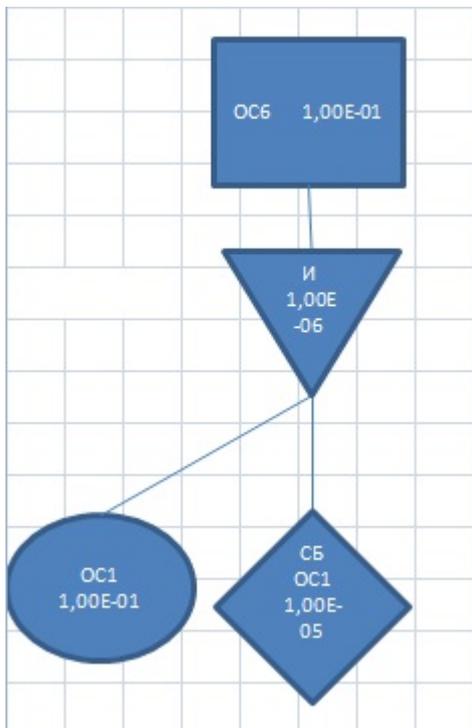


Рис. 29. Авария №1 для ЦХ ОТВС с СБ

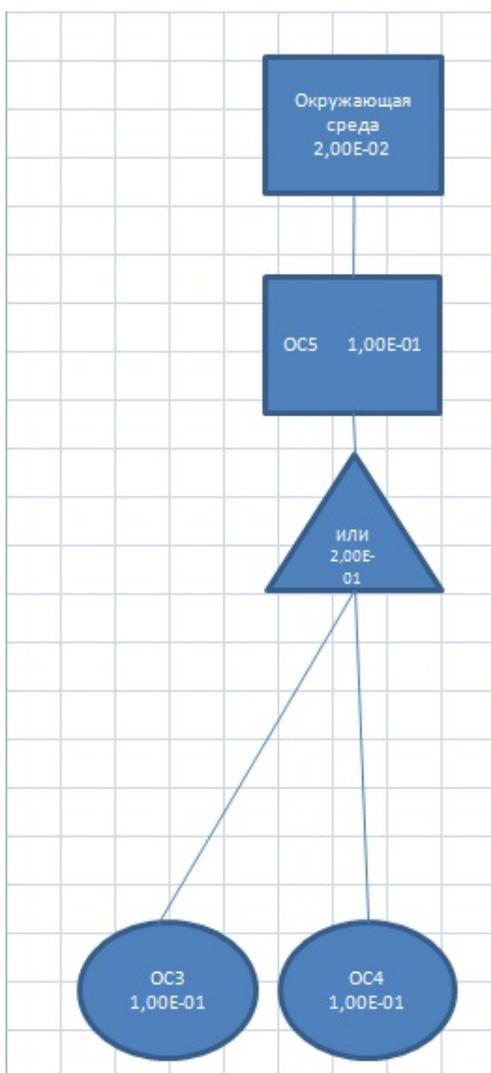


Рис. 30. Авария №2 для ЦХ ОТВС с СБ

Экономический ущерб возможных аварий в ЦХ ОТВС

В работе представлен расчет основных компонент экономического ущерба (см. рис. 31-36), связанного с воздействием излучения и радиоактивных веществ на здоровье персонала и населения, объекты техносферы, а также на окружающую природную среду, 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.

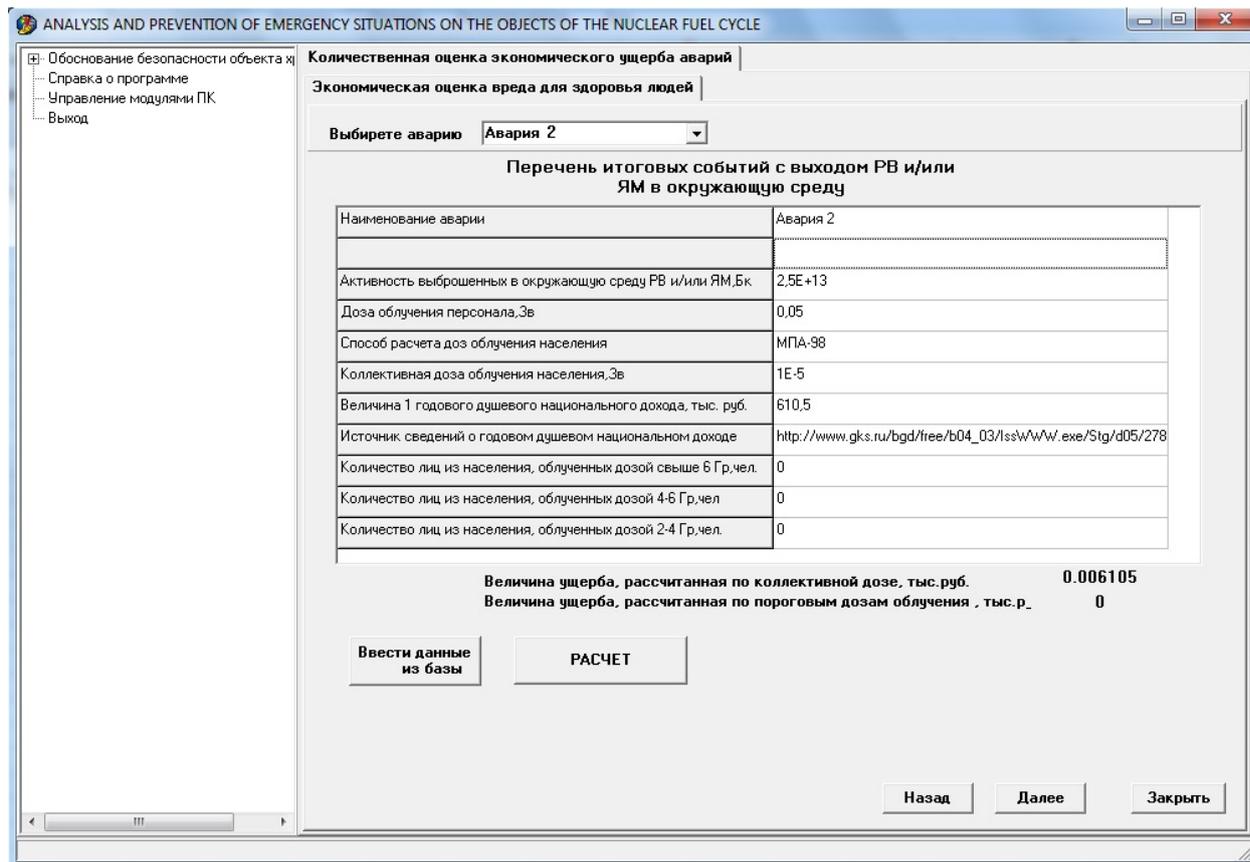


Рис. 31. Экономическая оценка вреда для здоровья

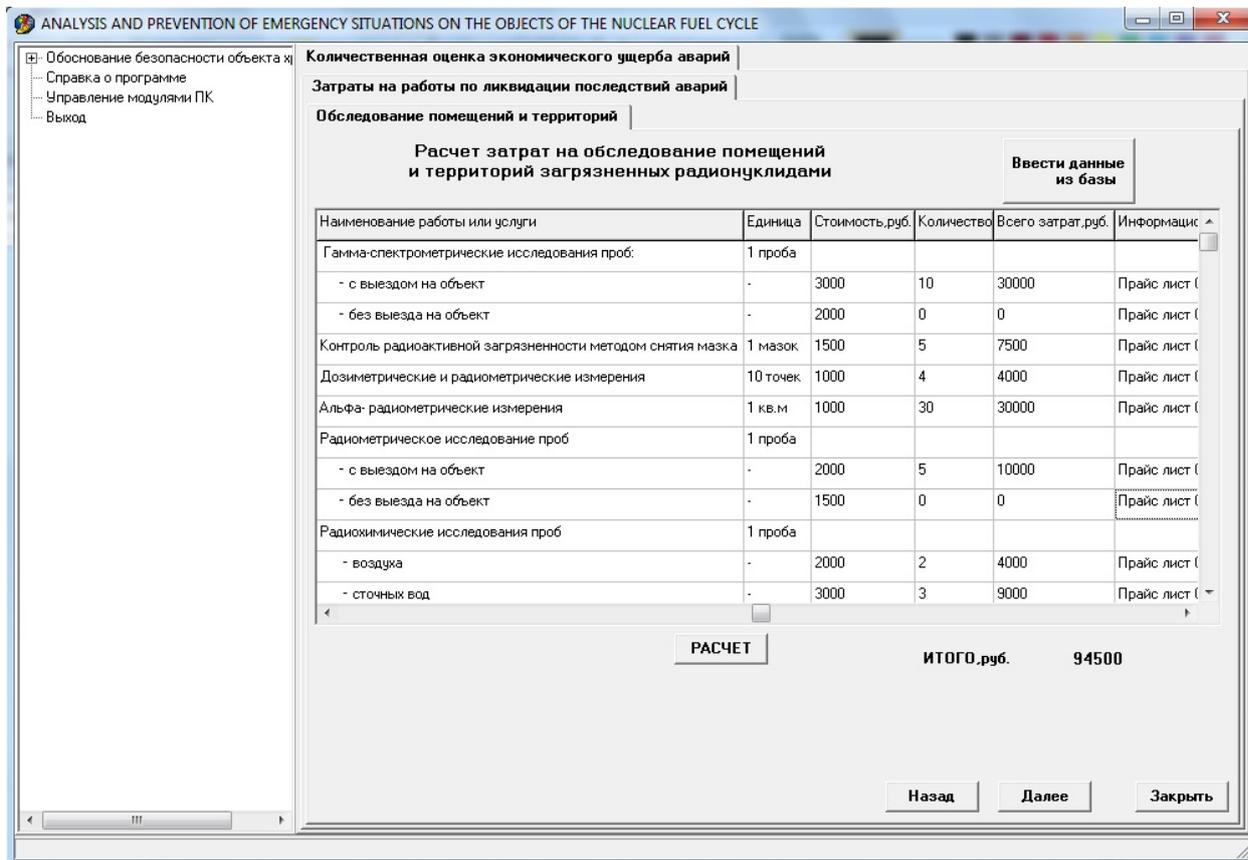


Рис. 32. Расчет затрат на обследование помещений и территорий загрязненных радионуклидами

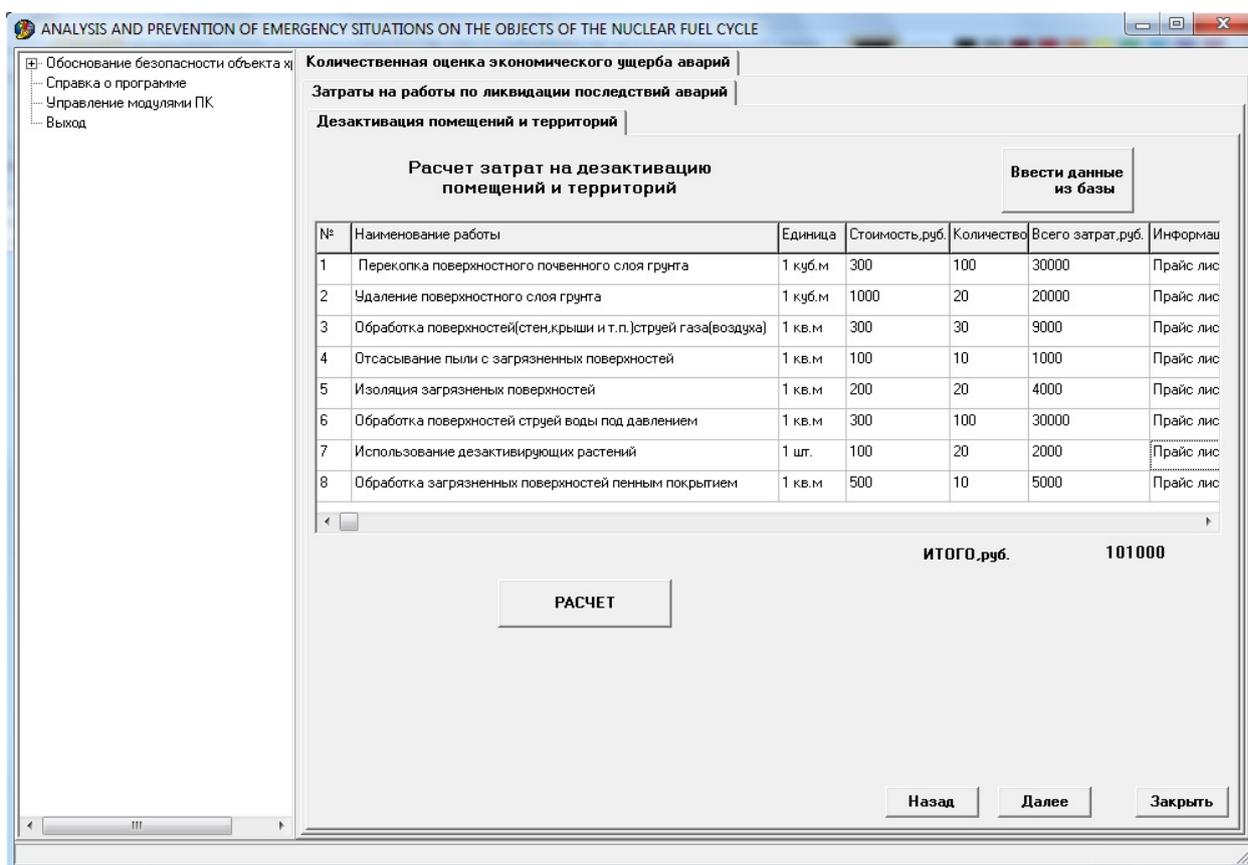


Рис. 33. Расчет затрат на дезактивацию помещений и территорий

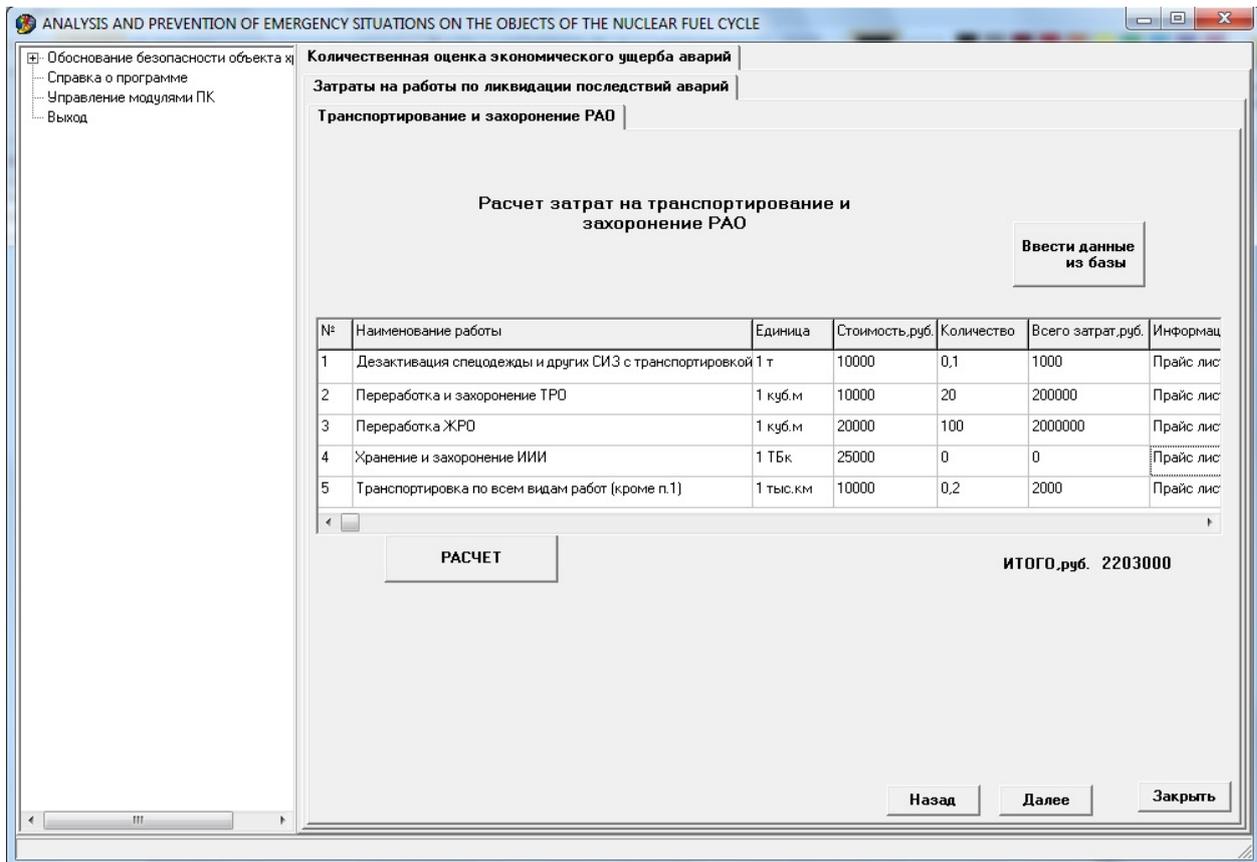


Рис. 34. Расчет затрат на транспортирование и захоронение РАО

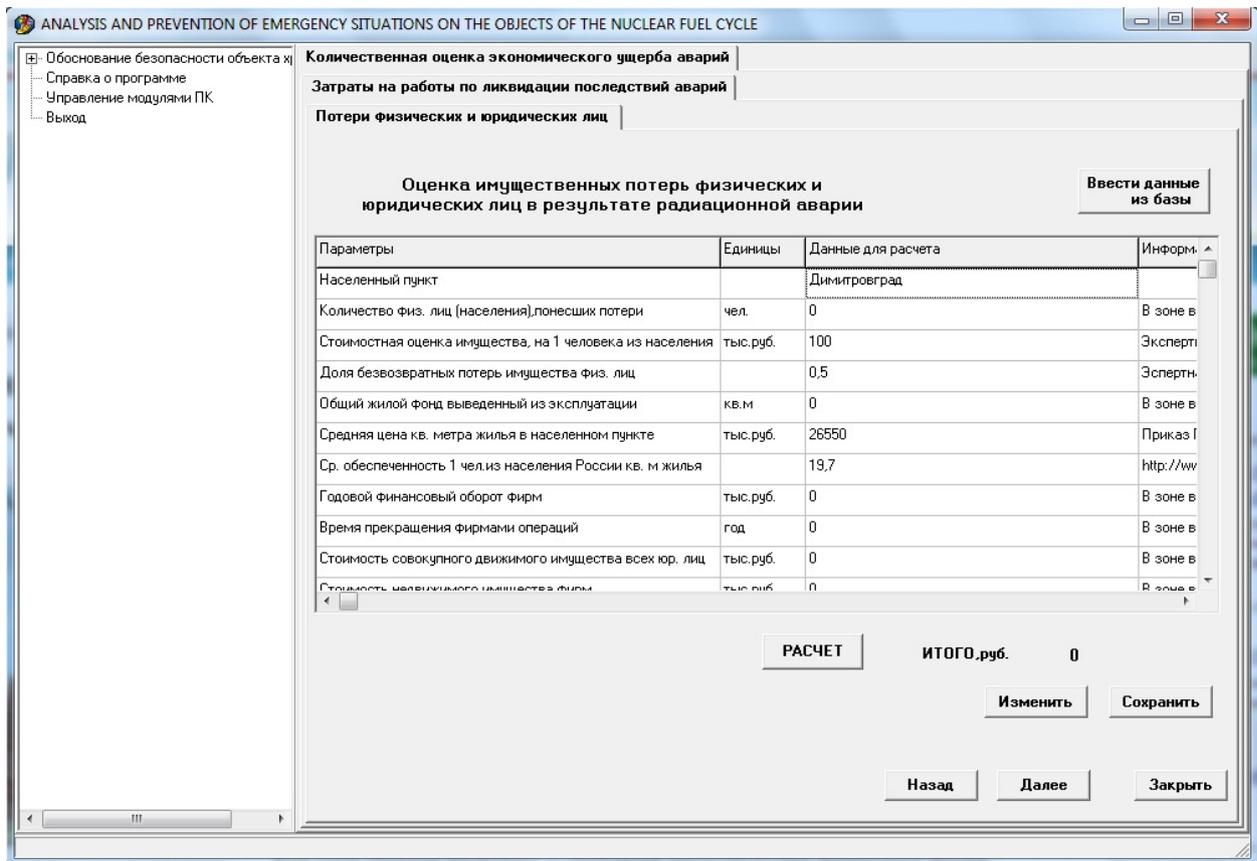


Рис. 35. Оценка имущественных потерь физических и юридических лиц в результате радиационной аварии

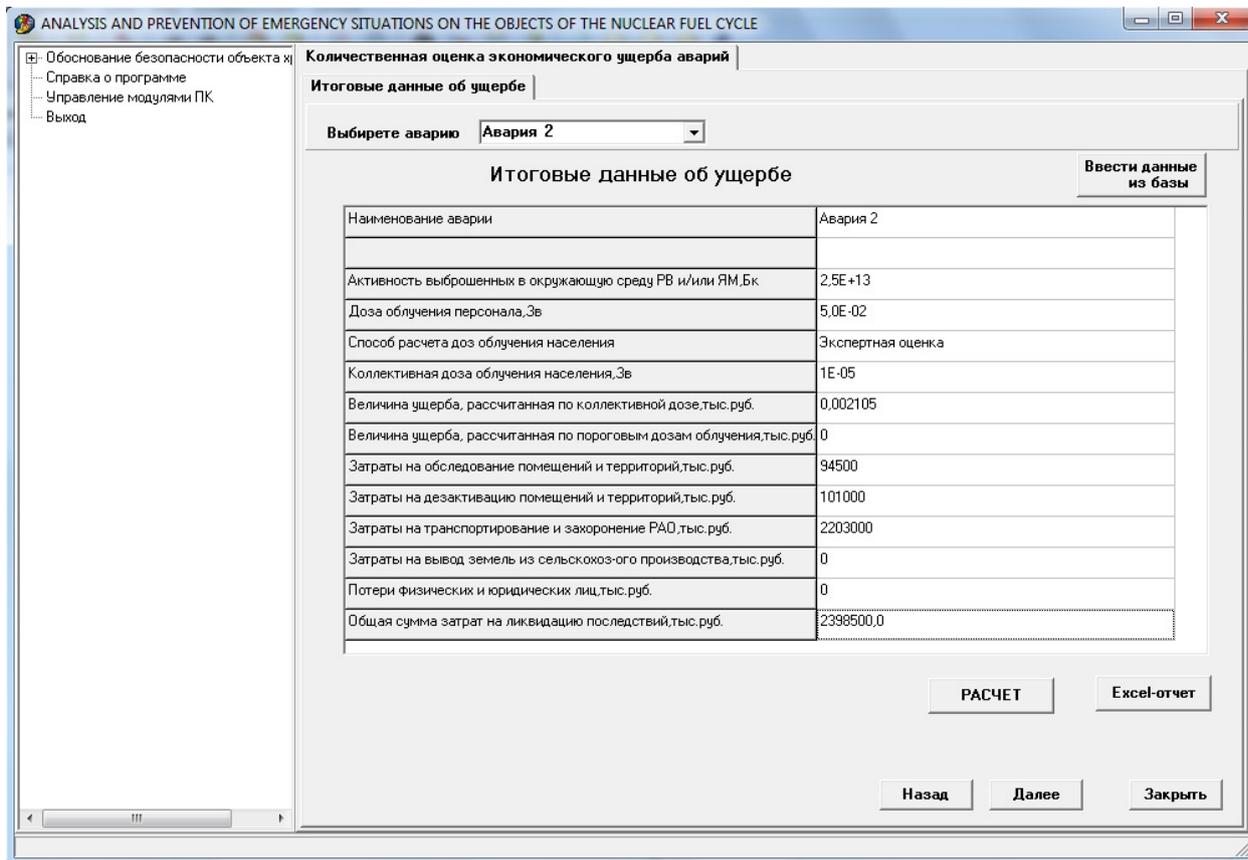


Рис. 36. Итоговые данные об ущербе

Классификация возможных аварий с использованием матрицы ядерного и радиационного риска

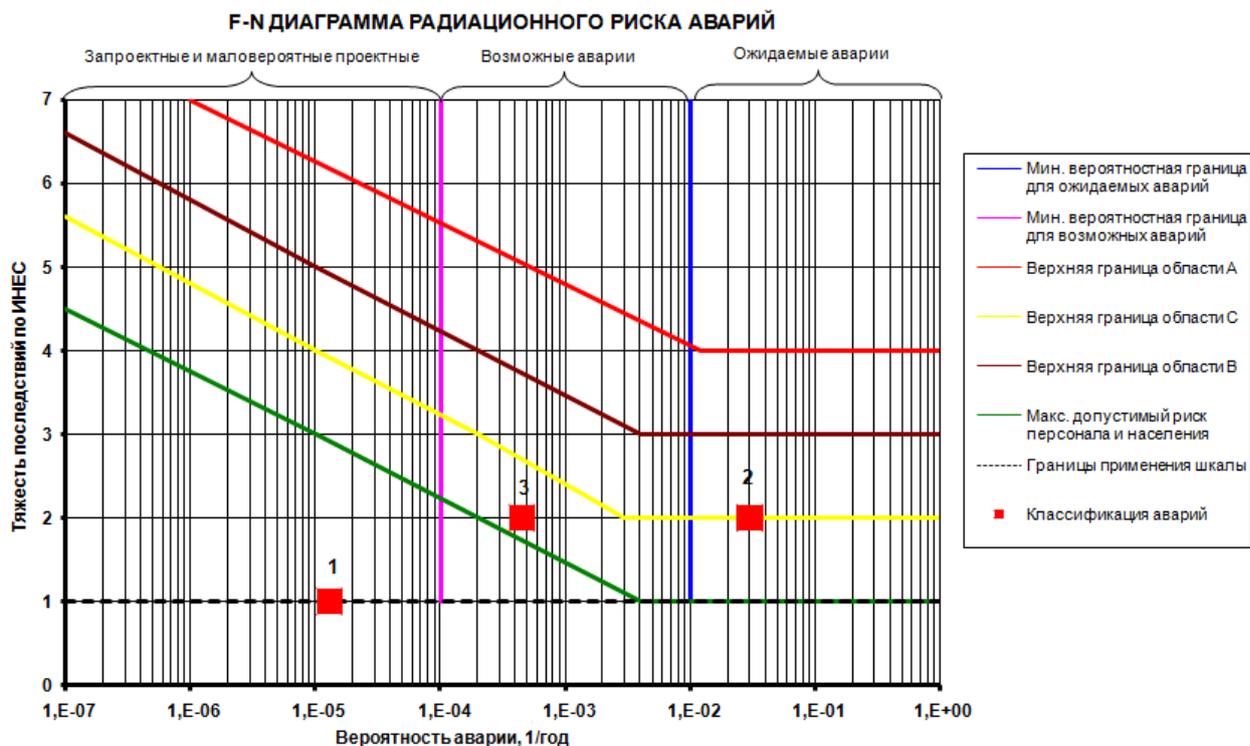


Рис. 37. F-N диаграмма риска для ЦХ ОТВС (1 - авария №1 с учетом СБ; 2- авария для исходного проекта; 3- авария №2 с учетом СБ).

Авария №1 не попала в коридор риска и характеризуется пренебрежимо малым риском (см. рис. 37).

Авария для исходного проекта и авария №1 с учетом СБ попали в коридор риска. Причем Авария исходного проекта характеризуется недопустимым риском. Однако использующиеся на объекте СБ позволили перевести данную аварию для исходного проекта в область С, где рекомендуется проведение детального анализа риска и принятие дополнительных мер безопасности.

Обоснование корректирующих мероприятий для повышения радиационной безопасности ЦХ ОТВС

Следует отметить, что в рамках данного исследования были определены и проанализированы возможные проектные и запроектные аварии при подготовке и проведении технологических операций с ОЯТ, выбраны наиболее опасные возможные аварии. Для них проведён детальный анализ радиационных последствий. В соответствии с результатами данной работы (см. рис. 38) радиационные воздействия этих аварий будут ограничены территорией здания и промплощадки, что говорит о продуманности как самого исходного проекта, так и установленных на объекте систем безопасности.

Классификация риска аварий	
Рекомендации по планированию корректирующих мероприятий	
Выберите аварию	Авария 0
Рекомендации по планированию корректирующих мероприятий	
Наименование аварии	Авария 2
Вероятность реализации аварии	2.0E-02
Общая сумма затрат на ликвидацию последствий радиационных аварий	2398500.0
Риск аварии	47.97E+03
Область на матрице риска(см. диаграмму)	В
Срок проведения корректирующих мероприятий*	12 месяцев

* Чтобы заполнить сроки, посмотрите на диаграмму и заполните строку "Область на матрице риска" и нажмите Enter

Рис. 38. Рекомендации по планированию корректирующих мероприятий.

Для уменьшения тяжести последствий аварии № 1 (с учетом СБ) предлагается разработать план действий персонала при возникновении рассматриваемого исходного события. Анализ положений шкалы INES показывает, что в данном случае нельзя понизить уровень тяжести последствий. Поэтому корректирующие мероприятия должны быть направлены на уменьшение вероятности события.

4.2. Расчет экономической эффективности внедрения программного комплекса.

На основании проведенных тестов, был проведен расчет экономической эффективности внедрения в проектной организации предлагаемого программного комплекса. Были использованы следующие исходные данные, представленные в таблице 14.

Таблица 14 – Исходные данные.

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение по вариантам	
			До внедрения (вариант 1)	После внедрения (вариант 2)
1	Средняя зарплата инженера с учетом премий ($K_{пр} = 1,25$), $C_{мес}$	тыс. руб.	42,023 [139]	42,023 [139]
2	Трудоемкость процесса расчета	чел-ч.	120	40
3	Количество годовых расчетов, А	шт/год	14	40
4	Стоимость ПО (вместе с обучением персонала), К	тыс. руб.	–	50

Следует отметить, что подсчет трудоемкости процесса проводился на основании большого количества экспериментов. Причем основными процедурами, которые позволили резко сократить трудоемкость, являются следующие:

- 1) Возможность выгрузки результатов расчетов (экономия около 20% времени);
- 2) Автоматизированное выполнение всех необходимых расчетов (экономия около 30% времени);
- 3) Формирование графических данных (экономия около 10% времени).

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

Экономический эффект от внедрения ПК состоит из двух составляющих:

- повышение качества проектных и управленческих решений за счет использования ПК, а, следовательно, сокращение издержек на переработку проектной документации;

- эффект, полученный в результате сокращения трудоемкости выполнения работы сотрудниками.

Эффект от повышения качества проектных работ рассчитывать не будем, хотя его значение иногда приобретает внушительную величину, вплоть до создания во внемодернизированном проекте ситуаций форс-мажора, которые приводят к прямым убыткам.

Годовые текущие издержки производства (себестоимость) представляют собой расходы на содержание и эксплуатацию техники и производственных площадей, занимаемых этой техникой, и включают:

- заработную плату основную и дополнительную с отчислениями во внебюджетные фонды инженера;

- амортизационные отчисления на полное восстановление (реновацию) техники;

- расходы на ремонт и техническое обслуживание техники;

- затраты на силовую электроэнергию;

- расходы на содержание и эксплуатацию производственных площадей, занятых техникой (амортизация, ремонт, отопление, освещение, уборка).

Рассчитаем статьи калькуляции себестоимости по вариантам.

$$C = C_{\text{зп}} + C_{\text{отч}} + C_{\text{а}} + C_{\text{э}} + C_{\text{ар}} + C_{\text{накл}},$$

где: $C_{\text{зп}}$ – затраты на зарплату инженера;

$C_{\text{отч}}$ – отчисления во внебюджетные фонды с зарплаты инженера;

$C_{\text{а}}$ – амортизация основных производственных фондов;

$C_{\text{э}}$ – затраты на силовую электроэнергию;

$C_{ар}$ – аренда площадей;

$C_{накл}$ – накладные расходы.

Годовые затраты на зарплату инженера по базовому и проектному вариантам рассчитаем по зависимости:

$$C_{зп1} = C_{зп2} = C_{мес} \cdot 12 = 42,023 \cdot 12 = 504,28 \text{ тыс. руб.}$$

где: $C_{зп1}$ – затраты на зарплату инженера по варианту 1;

$C_{зп2}$ – затраты на зарплату инженера по варианту 2.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$C_{отч1} = C_{отч2} = C_{зп} \cdot 0,302 = 504,276 \cdot 0,302 = 152,29 \text{ тыс. руб.}$$

где: $C_{отч1}$ – отчисления во внебюджетные фонды с зарплаты инженера по варианту 1;

$C_{отч2}$ – отчисления во внебюджетные фонды с зарплаты инженера по варианту 2.

Амортизация основных производственных фондов по базовому варианту (вариант 1) равна нулю ($C_{а1} = 0$), а по проектному варианту (вариант 2) по линейному методу амортизации:

$$C_{а2} = \frac{K_{бал}}{T_э} = \frac{50,0}{5} = 10,0 \text{ тыс. руб./год,}$$

где: $K_{бал}$ – стоимость программного продукта;

$T_э$ – срок его эксплуатации (для расчетов 5 лет).

Затраты на силовую электроэнергию, в связи с их малой величиной, включим в накладные расходы.

Аренда площадей и по базовому (вариант 1), и по проектному (вариант 2) вариантам составит:

$$C_{ар1} = C_{ар2} = П \cdot Ц_п \cdot 12 = 5 \cdot 500,0 \cdot 12 = 30,0 \text{ тыс. руб.}$$

где: $П$ – площадь с учетом проходов, необходимая для размещения рабочего места инженера (для расчета взято 5 м^2);

$Ц_п$ – месячная арендная плата за единицу площади (для расчета $500,00 \text{ руб./м}^2$).

Накладные расходы примем средними по отрасли (25% от суммы предыдущих пунктов):

$$C_{\text{накл1}} = (C_{\text{зп1}} + C_{\text{отч1}} + C_{\text{а1}} + C_{\text{ар1}}) \cdot 0,25 = \\ = (504,28 + 152,29 + 0 + 30,00) \cdot 0,25 = 171,64 \text{ тыс.руб.},$$

$$C_{\text{накл2}} = (C_{\text{зп2}} + C_{\text{отч2}} + C_{\text{а2}} + C_{\text{ар2}}) \cdot 0,25 = \\ = (504,28 + 152,29 + 10,0 + 30,00) \cdot 0,25 = 174,14 \text{ тыс.руб.},$$

где: $C_{\text{накл1}}$ – накладные расходы по варианту 1;

$C_{\text{накл2}}$ – накладные расходы по варианту 2.

Себестоимость продукции (работ, услуг) соответственно по базовому (вариант 1) и проектному (вариант 2) вариантам равна:

$$C_1 = C_{\text{зп1}} + C_{\text{отч1}} + C_{\text{а1}} + C_{\text{ар1}} + C_{\text{накл1}} = \\ = 504,28 + 152,29 + 0 + 30,00 + 171,64 = 858,21 \text{ тыс. руб.},$$

$$C_2 = C_{\text{зп2}} + C_{\text{отч2}} + C_{\text{а2}} + C_{\text{ар2}} + C_{\text{накл2}} = \\ = 504,28 + 152,29 + 10,00 + 30,00 + 174,14 = 870,71 \text{ тыс. руб.},$$

где: C_1 – себестоимость продукции (работ, услуг) по варианту 1;

C_2 – себестоимость продукции (работ, услуг) по варианту 2.

Для расчета годового экономического эффекта воспользуемся прямыми продажами с установленной ценой по рентабельности.

Соответственно приведенные затраты на один расчет по базовому (вариант 1) варианту составляют:

$$\Pi_3^1 = \frac{(C_1 + K_1 \cdot E_n)}{A_1} = \frac{(858,21 + 0,00 \cdot 0,2)}{14} \approx 61,30 \text{ тыс. руб.},$$

где K_1 – капитальные затраты по базовому (вариант 1) варианту;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (принимается равным 0,2);

A_1 – годовой объем производства по базовому (вариант 1) варианту.

При рентабельности $\rho = 30\%$ стоимость продажи (Π) 1 комплекта проектной документации составит:

$$\Pi = \Pi_3^1 + \Pi_3^1 \cdot \rho = 61,30 + 61,30 \cdot 0,3 \approx 80,0 \text{ тыс. руб.}$$

Выручка предприятия по базовому (вариант 1) варианту составит:

$$B_1 = \Pi \cdot A_1 = 80,0 \cdot 14 = 1120,0 \text{ тыс. руб.}$$

Валовая прибыль по базовому (вариант 1) варианту:

$$ВП_1 = (Ц - З_1) \cdot A_1 = (80,0 - 61,30) \cdot 14 = 261,8 \text{ тыс. руб.}$$

Чистая прибыль по базовому (вариант 1) варианту (при классической системе налогообложения):

$$ЧП_1 = ВП_1 \cdot 0,8 = 261,8 \cdot 0,8 = 209,44$$

Приведенные затраты на один расчет по проектному (вариант 2) варианту составляют:

$$П_3^2 = \frac{(C_2 + K_2 \cdot E_n)}{A_2} = \frac{(870,71 + 50,0 \cdot 0,2)}{40} \approx 22,02 \text{ тыс. руб.},$$

где K_2 – капитальные затраты по проектному (вариант 2) варианту;

A_2 – годовой объем производства по проектному (вариант 2) варианту.

Выручка предприятия по проектному (вариант 2) варианту составит:

$$В_2 = Ц \cdot A_2 = 80,0 \cdot 40 = 3200,0 \text{ тыс. руб.}$$

Валовая прибыль по проектному (вариант 2) варианту:

$$ВП_2 = (Ц - З_2) \cdot A_2 = (80,0 - 22,02) \cdot 40 = 2319,2 \text{ тыс. руб.}$$

Чистая прибыль по проектному (вариант 2) варианту (при классической системе налогообложения):

$$ЧП_2 = ВП_2 \cdot 0,8 = 2319,2 \cdot 0,8 = 1855,36 \text{ тыс. руб.}$$

Соответственно годовой экономический эффект методом приведенных затрат от сокращения трудоемкости процесса создания проектной документации равен:

$$\mathcal{E} = П_3^1 \cdot A_1 \cdot \beta - П_3^2 \cdot A_2 = 61,30 \cdot 40 - 22,02 \cdot 40 = 1571,2 \text{ тыс. руб.},$$

где: β – коэффициент эквивалентности для приведения показателей базового (вариант 1) варианта к сопоставимому с проектным (вариант 2) вариантом по объему производства (β_A), качественным параметрам ($\beta_{\text{кач}}$), фактору времени (β_t):

$$\beta = \beta_A \cdot \beta_{\text{кач}} \cdot \beta_t,$$

$$\beta_A = \frac{A_2}{A_1};$$

$$\beta_{\text{кач}} = \frac{Z_2}{Z_1};$$

$$\beta_t = \frac{1}{(1+E)^t} = 1 \text{ (принимаем для нашего случая),}$$

где: Z_1 и Z_2 – значение показателя качества соответственно по базовому (вариант 1) и проектному (вариант 2) вариантам (в нашем случае принимаем что $Z_1 = Z_2$);

E – норматив приведения разновременных затрат по времени (принимают равным 0,1);

t – количество лет, отделяющих начальный момент осуществления мероприятия до расчетного года.

Соответственно прямой эффект от продаж составит:

$$\text{ЭП} = \text{ЧП}_2 - \text{ЧП}_1 = 1855,68 - 209,44 = 1646,24 \text{ тыс. руб.}$$

4.3.Вывод

В результате проведенных тестовых испытаний ПК APES ONFC получены следующие результаты:

1. Выполнен предварительный анализ возможных радиационных опасных событий в ЦХ ОТВС;
2. Определены сценарии развития возможных аварий и вероятности отказов систем защиты (контроля);
3. Рассчитан экономический ущерб радиационных аварий ЦХ ОТВС;
4. Проведена классификация возможных аварий с использованием F-N диаграммы;
5. Обоснованы корректирующие мероприятия для повышения ядерной и радиационной безопасности ЦХ ОТВС.

Выполнение всех поставленных задач позволило провести полноценное тестирование ПК APES ONFC, т.е. провести анализ риска озможных аварий ЦХ ОТВС.

В рамках данной работы определены и проанализированы возможные проектные и запроектные аварии при хранении ОТВС и проведении транспорт-

но-технологических операций с ними в здании хранилища, из возможных аварий выбраны наиболее опасные. Для них проведён детальный анализ радиационных последствий. Выполнена оценка риска возможных аварий в ЦХ ОТВС и предложены корректирующие мероприятия, выполнение которых позволит обеспечить достижение на объекте уровня пренебрежимого риска.

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

Также дополнительно было выявлено, что при проектировании однотипных объектов трудоемкость может быть сокращена ещё более значительно. Данное обстоятельство достигается в связи с использованием базы данных реализованных проектов. Следует отметить, что применение программного комплекса позволяет исключить ошибки, связанные с пропуском описанных отказов оборудования, при построении «деревьев отказов» в связи с автоматизированным его построением по всем имеющимся в базе отказам.

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 и 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.

Заключение

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 способ 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 его построением по всем имеющимся в базе отказам;

3. Проводить 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.

Также следует отметить, что полученные в рамках данной работы результаты могут быть использованы в образовательной деятельности, для обучения студентов и специалистов работе с системами автоматизированного проектирования.

На основе проведенных исследований в рамках данной работы может быть создан и введен в образовательную программу для студентов технических специальностей, специалистов проектных организаций и персонала опасных производственных объектов научно-образовательный курс «Надежность технических систем и анализ риска возможных аварий в ТС содержащих опасные вещества», который может состоять из курса лекций и лабораторного практикума.

Дальнейший план проведения исследований, развивающий полученные в рамках данной работы результаты может быть построен следующим образом:

1) Научно-исследовательская работа, направленная на создание логико-вероятностных моделей эксплуатируемых и проектируемых ТС и графических моделей безопасности данных объектов.

2) Определение концептуальных решений построения и структуры проектных решений для различных типов ТС.

3) Разработка проектов объектов рассмотренных типов.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю

доктору физико-математических наук, профессору Вячеславу Викторовичу Светухину за постановку задач, детальное обсуждение результатов работы и всестороннюю поддержку, а также начальнику лаборатории радиационно-технологических методов и систем отдела радиационной безопасности АО «ГНЦ НИИАР» кандидату технических наук Виктору Дмитриевичу Кизину за многолетнюю совместную работу и детальное обсуждение основных положений диссертационного исследования.

Список использованной литературы:

1. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».
2. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Порядок разработки перечня мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера при проектировании объектов капитального строительства [Текст] : ГОСТ Р 55201-2012.– Изд. 2013.– введ. впервые ; введ. 01.07.2013.
3. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс].– 2012.– URL: <http://www.kremlin.ru/news/15177> (дата обращения 24.01.2014).
4. Рябинин, И.А. Надежность и безопасность сложных систем / И.А. Рябинин.– Спб.: Политехника, 2000.– 248 с.
5. Швыряев, Ю.В. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. Методика выполнения. / Ю.В. Швыряев [и др.]– М: ИАЭ им. И.В.Курчатова, 1992.– 265 с.
6. Можаяев, А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем. / А.С. Можаяев.– Л: ВМА им. А.А. Гречко, 1986.– 116 с.
7. Ершов, Г.А. Оценка безопасности атомных энергетических объектов на стадии проектирования / Г.А. Ершов, Ю.И. Козлов, А.С. Солодовников [и др.] // Тяжелое машиностроение.– 2004.– № 8.– С. 33–39.
8. Верификация и обоснование программы CRISS 4.0 для моделирования и анализа систем безопасности ядерной установки при выполнении вероятностного анализа безопасности». Часть 1 (Заключительная редакция): отчет о НИР / А.М. Бахметьев, И.А. Былов, Ю.В. Милакова.– Нижний Новгород: ФГУП ОКБМ им. И.И.Африкантова, 2005. - 88 с.
9. Пампуро, В.И. Методология системного подхода к оптимальному управлению безопасностью АЭС / В.И. Пампуро, В.В. Инюшев, И.Г. Шараевский // Ядерная и радиационная безопасность.–2003.– №4.– С. 26-42.

10. Измалков, В.И. Техногенная и экологическая безопасность и управление риском / В.И. Измалков, А.В. Измалков.– Спб.: ЦСИ гражданской защиты МЧС РФ – НИЦ экологической безопасности РАН, 1998.– 482 с.
11. Петрин, С.В. Анализ безопасности установок и технологий: методическое пособие по проблемам регулирования риска. Часть 1 / С.В. Петрин.– Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006.– 167 с.
12. Кузык, Б.Н. Высокотехнологичный комплекс и безопасность России. Проблемы обеспечения безопасности оборонно-промышленного комплекса России. Том II, 2 издание / Б.Н. Кузык.– М: ИНЭС, 2005.– 448 с.
13. Быков, А.А. Нормативно- экономические модели управления риском / А.А. Быков, В.А. Акимов, М.И. Фалеев // Проблемы анализа риска.– 2004.– Т. 1.– № 2.– С. 125-137.
14. Острейковский, В.А. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. / В.А. Острейковский, Ю.В. Швыряев.– М: ФИЗМАТЛИТ, 2008.– 352 с.
15. Российская Федерация. Законы. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Текст] : федер. закон : [принят Гос. Думой 20 июня 1997 г. : по состоянию на 1 января 2015 г.].
16. Баратов, А.Н. Пожарная безопасность / А.Н. Баратов, В.А. Пчелинцев.– М: Изд-во АСВ, 1997.– 172 с.
17. Хурнова, Л.М. Экологическое аудирование управления рисками: учебное пособие / Л.М. Хурнова, Д.Х. Мамина.– Пенза: ПГАСА, 2003.– 100 с.
18. Российская Федерация. Законы. Об использовании атомной энергии [Текст] : федер. закон : [принят Гос. Думой 20 октября 1995 г. : по состоянию на 1 января 2015 г.].
19. Российская Федерация. Законы. О радиационной безопасности населения [Текст] : федер. закон : [принят Гос. Думой 5 декабря 1995 г. : по состоянию на 1 января 2015 г.].

20. Российская Федерация. Законы. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения [Текст] : федер. закон : [принят Гос. Думой 12 марта 1999 г. : одобр. Советом Федерации 17 марта 1999 г.]
21. Порядок оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечня включаемых в нее сведений : РД 03-14-2005 : утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 29.11.2005.
22. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов [Текст] : РД 03-418-01: утв. Федеральным горным и промышленным надзором России 10.07.2001: введ в действие с 01.10.2001.
23. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем [Текст] : ГОСТ Р 51901 1-2002.– Изд. 2005 с Изм. 1 (ИУС 8-2005).– введ. впервые ; введ. 07.06.2002.
24. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии [Текст] : НП-064-05 : утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 20.12.05 : введ в действие с 01.05.06.
25. Кочетков, К.Е. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 1 / К.Е. Кочетков, В.А. Котляревский, А.В. Забегаев.– М: Изд-во АСВ, 1995.– 321 с.
26. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, with Worked Examples. – New York:Wiley AIChE, 1992. Pub. № G-18 P. 461.
27. Forester J., Bley D., Cooper S. et al. Expert elicitation approach for performing ATHEANA quantification // Reliability engineering and system safety, 2004. V. 83. № 2. P. 207–220.
28. Hahn H.A., Blackman H.S., German D.I. Applying sneak analysis to the identification on human errors of commission // Idid, 1991. V. 33. № 2. P. 289–300.

29. Swain A.D., Guttman H.E. Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications. NUREG/CR-1278. Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM. – USA, 1983.
30. Ершов, Г.А. Сравнительный анализ способов моделирования безопасности АЭС с помощью метода ДС-ДО, ГО-метода и общего логико-вероятностного метода / Г.А. Ершов, Ю.И. Козлов, А.О. Татусьян // сб. материалов конференции «Практика разработки ВАБ и использования их результатов на действующих и вновь проектируемых АЭС», Москва, 18–21 ноября 2002 г. – М.: Атомэнергопроект, 2002.
31. Можаяев А.С. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования сложных систем (ПК АСМ, 2001). – Труды Международной научной школы «Моделирование и анализ безопасности, риска и качества в сложных системах (МА БРК, 2001)». – СПб.: Изд-во ООО «НПО «Омега», 2001. С. 56–61.
32. Рябинин, И.А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / И.А. Рябинин, Г.Н. Черкесов.– М.: Радио и связь, 1981.– 264 с.
33. Хенли, Э.Дж. Надежность технических систем и оценка риска / Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото.– М.: Машиностроение, 1984.– 528 с.
34. Ершов, Г.А. Применение и сопоставление ГО-методологии и метода дерева отказов / Г.А. Ершов [и др.]– Иркутск: СЭИ, 1990.
35. Программный комплекс «Risk Spectrum» Шведской фирмы «Relcon AB». [Электронный ресурс]: Сайт Шведской фирмы «Relcon AB».– режим доступа : <http://www.riskspectrimi.com> (дата обращения 01.01.2013).
36. Risk Spectrum PSA Professional 1.20 / Teory Manual. RELCON AB, 1998.– 57р.
37. Risk Spectrum Professional. Руководство пользователя // Техническая документация к программному комплексу фирмы By Relcon AB.–119с.
38. Викторова, В.С. Relex - программа анализа надежности, безопасности, рисков / В.С. Викторова, Х. Кунтшер, Б.П. Петрухин, А.С. Степанянц // Надежность.– №4(7).– 2003.– С. 42-64.

39. Leonard, M.T., Rough estimates of severe accident containment loads accompanying vessel breach in BWRs, Nucl. Technol. 108 (1994) 320–337.
40. Vierow, K., Development of the VESUVIUS code for steam explosion analysis, Jap. J. Multiphase Flow 12 (3) (1998) 242–248, 358–364.
41. Описание стандартного кода PSA (Risk) для выполнения стандартных вероятностных расчетов. [Электронный ресурс]: Сайт Международного центра по ядерной безопасности.– режим доступа : <http://www.insc.ru/index.php/new-scientific-and-theoretical-directions> (дата обращения 01.01.2013).
42. Бахметьев, А.М. Разработка программного комплекса для вероятностного анализа безопасности CRISS 5.1, его верификация и аттестация / А.М. Бахметьев, И.А. Былов, А.В. Думов // Научная сессия НИЯУ МИФИ - 2011, Аннотации докладов. В 3 томах. Т. 1 Инновационные ядерные технологии.– М.: НИЯУ МИФИ, 2011.– С. 218.
43. Межотраслевая методика расчета экономического ущерба от радиационных аварий при использовании радиоактивных веществ в народном хозяйстве [Текст] : рег. № Р-03/98.– СПб.: РЭСцентр, 1998.– введ. впервые ; введ. 19.11.1998.
44. Методические рекомендации по разработке и подготовке к принятию проектов технических регламентов [Текст] : утв. М-вом промышленности и энергетики Рос. Федерации 12.02.06: введ. В действие 12.02.06.
45. Котельников, В.С. Состояние травматизма при эксплуатации подъемных сооружений / В.С. Котельников // Безопасность труда в промышленности.– 2002.– № 3,– С. 18-21.
46. Отраслевое руководство по анализу и управлению риском, связанным с техногенным воздействием на человека и окружающую среду при сооружении и эксплуатации объектов добычи, транспорта, хранения и переработки углеводородного сырья с целью повышения их надежности и безопасности // РАО Газпром.– М.– 1996.– 1-я ред.
47. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах : утв. АК «Транснефть» 30.12.99.

48. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба [Текст] : утв. Государственным комитетом Рос. Федерации по охране окружающей среды 09.03.1999: ввод в действие с 09.03.1999.
49. Методические указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов : РД 08-120-96 : утв. Федеральным горным и промышленным надзором России 12.07.96.
50. Кузык, Б.Н. Высокотехнологичный комплекс и безопасность России. Проблемы обеспечения безопасности оборонно-промышленного комплекса России. Том II, 2 издание / Б.Н. Кузык // ИНЭС.– М.– 2005.– С. 448.
51. Тихомиров, Н.П. Подходы, модели и методы управления последствиями радиоактивного заражения территории крупного города / Н.П. Тихомиров, П.В. Ивандиков, С.В. Стрижова // Вестник Российской экономической академии им. Г.В. Плеханова.– 2008.– №4(22).
52. Мартынюк, И.В. Выбор оптимальных маршрутов перевозок опасных грузов по результатам оценки рисков возникновения нарушений безопасности движения и ущербов от них / И.В. Мартынюк // Вестник РГУПС.– 2006. – №3, – С. 103-106.
53. Кобзарь, Ю.М. Методические основы оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций / Ю.М. Кобзарь, Е.В. Хлобыстов // Економіка природокористування і охорони довкілля: Спец. вип. збірника наукових праць – К.: РВПС України НАН України.– 2000, – С.173-183.
54. Быков, А.А. Нормативно-экономические модели управления риском / А.А. Быков, В.А. Акимов, М.И. Фалеев // Проблемы анализа риска.– 2004.– Т. 1.– № 2,– С. 125-137.
55. Афанасьев, А.А. Воздействие энергетики на окружающую среду: внешние издержки и проблемы принятия решений: Препринт № ИВРАЭ-98-14 / А.А. Афанасьев // ИВРАЭ РАН.– М.–1998,– С. 56.
56. Афанасьев, А.А. Воздействие энергетики на окружающую среду: методологические проблемы оценки экономического ущерба / А.А. Афанасьев // ИВРАЭ РАН.– М.–1999.

- 57.Быков, А.А. О методологии экономической оценки жизни среднестатистического человека (пояснительная записка) / А.А. Быков // Проблемы анализа риска.– 2007.– Т. 4.– № 2.– С. 178-191.
- 58.Акимов, В.А. Надежность технических систем и техногенный риск / В.А. Акимов, В.Л. Лапин, В.М. Попов [и др.] // ЗАО ФИД «Деловой экспресс».– М.– 2002.– С. 368.
- 59.Предельно допустимые уровни риска (пояснительная записка) // Проблемы анализа риска.– 2006.–Т. 3.– № 2.– С. 163-168.
- 60.Волков, Ю.В. Надежность и безопасность ЯЭУ. Учебное пособие по курсу «Надежность и безопасность ЯЭУ» / Ю.В. Волков, О.Б. Дугинов, Д.А. Клинов // ИАТЭ.– Обнинск.– 2005.– С. 118.
- 61.Захаров, А.А. Формализованная оценка безопасности - универсальный инструмент для снижения риска на транспорте / А.А. Захаров // Транспорт Российской Федерации.– 2006.–№ 3.– С. 66-68.
- 62.Бакин, Р.И. Ранжирование приоритетов при снижении рисков на конкретных объектах ЯТЦ на примере НИИАР / Бакин Р.И., Фролова О.Б., Шикин А.В. [и др.] // Диалог с общественностью по вопросам снижения риска: сборник трудов Первого международного семинара «Гармонизации нормативной базы экологического регулирования на основе концепции риска: проблемы, подходы, перспективы», Москва, 4–6 марта 2002 г. и Второго международного семинара «Проблемы снижения риска при использовании атомной энергии», Москва, 7–9 июня 2004 г. – М.: Изд-во «Комтехпринт», 2005. С. 72.
- 63.Типовой паспорт безопасности опасного объекта : утв. М-вом Рос. Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий 04.11.2004.
- 64.Жук, Ю.К. Международная шкала ядерных событий (ИНЕС): руководство для пользователей : [пер. с англ.] / Ю.К. Жук. – IAEA-INES, 2001.
- 65.Ballay, L. (Ed.), Adaptation of INES scale to radiological incidents and accidents in Hungary, Report by NRIRR for HAEA, Budapest, Sept.30 (2010).

66. ИИЕС руководство для пользователей международной шкалы ядерных и радиологических событий : [пер. с англ.] – МАГАТЭ, 2010. – 250 с.
67. Quine, W.V. The Problem of Simplifying Truth Functions / W.V. Quine // American Math. Monthly, October 1952, pp. 521-531.
68. Lee, C.Y. Analysis of Switching Networks / C.Y. Lee // The Bell System Technical Journal, November 1955, pp 1287-1315.
69. Рябинин, И.А. Кратко аннотированный список публикаций зарубежных периодических изданий по вопросам оценивания надежности структурно-сложных систем / И.А. Рябинин, А.В. Струков // [Электронный ресурс]: Библиотека МИФИ.– режим доступа : http://www.dex.ru/riskjournal/unpublished/Ryabinin_Strukov.pdf (дата обращения 03.05.2015).
70. McCluskey, E.J. Minimization of Boolean Functions / E.J. McCluskey // The Bell System Technical Journal, November 1956, pp. 1417-1444.
71. Premo, A.F. The Use of Boolean Algebra and Truth Table in the Formulation of a Mathematical Model of Success / A.F. Premo // IEEE Trans. Reliability, 1963 Sep, pp. 45-49.
72. Hurley, R.B. Probability Maps / R.B. Hurley // IEEE Trans. Reliability, 1963 Sep, pp. 39-44.
73. Jensen, P.A. An Algorithm to Determine the Reliability of a Complex System / P.A. Jensen, M. Bellmore // IEEE Trans. Reliability, vol R-18, 1969 Nov, pp. 169-174.
74. Birnbaum, Z.W. Multi-Component Systems and Structures and Their Reliability / Z.W. Birnbaum, J.D. Esary, S.C. Saunders // Technometrics, vol. 3, No 1. February 1961, pp. 55-77.
75. Esary, J.D. Coherent Structures of Non-Identical Components / J.D. Esary, F. Proshan // Technometrics, vol. 5, No 2. May 1963, pp. 191-209.
76. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plant (Reactor Safety Study) // Rep. WASH-1400.- Washington, DC, 1975.

77. Биркхофер, А. Исследования риска при эксплуатации атомных электростанций в ФРГ / А. Биркхофер // Бюллетень МАГАТЭ.- 1980.- Кн. 22, № 5/6.
78. Agrawal, A. A Survey of Network Reliability and Domination Theory / A. Agrawal, R.E. Barlow // Operations Research, vol 32, No. 3, May-June 1984, pp. 478-492.
79. Bojadjiev, A. FTANS – A Computer Program for Probabilistic Analysis of Non-Coherent Structures / A. Bojadjiev // IEEE Trans. Reliability, vol R-33, NO.5, December 1984, pp. 397-398.
80. Barlow, R.E. Mathematical Theory of Reliability: A Historical Perspective / R.E. Barlow // IEEE Trans. Reliability, vol R-33, № 1, April 1984, pp. 16-20.
81. Locks, M.O. Recursive Disjoint Products: A Review of Three Algorithms / M.O. Locks // IEEE Trans. Reliability, vol R-31, № 1, April 1982, pp. 33-35.
82. Hwang, C.L. System-Reliability Evaluation Techniques for Complex/Large Systems - A Review / C.L. Hwang, F.A. Tillman, M.H. Lee // IEEE Trans. Reliability, vol R- 30, №5, December 1981, pp. 416-423.
83. Rai, S. A Survey of Efficient Reliability Computation Using Disjoint Products Approach/ S. Rai, M. Veeraraghavan, K. Trivedi // Networks, Vol.25, 1995, pp. 147-165.
84. Bjorkman, K. Digital Automation System Reliability Analysis – Literature survey, VTT –R-08153-09.
85. Порецкий, П.С. Решение общей задачи теории вероятностей при помощи математической логики / П.С. Порецкий // Собрание протоколов 60-го заседания секции физико-математических наук общества естествоиспытателей при Казанском университете, Казань, 1886, с.1-34. Труды Казанской секции физ.мат.наук. Серия 1., 1887, т.5, с.83-116.
86. Поспелов Д. А. О некоторых задачах вероятностной логики // Тр. МЭИ.— Т. 42.—1962.
87. Макаров С. В. Вероятностные расчеты одноконтурных схем// Вычислительные системы.— 1962.— Вып. 4.

- 88.Мерекин Ю. В. Решение задач вероятностного расчета одноконтурных схем методом ортогонализации// Вычислительные системы.— 1962.— Вып. 5.
- 89.Рябинин И. А. Теоретические основы проектирования электроэнергетических систем кораблей.— Л.: ВМА, 1964.— 282 с.
- 90.Рябинин И. А. О количественной оценке надежности судовых электроэнергетических систем // Судостроение,— 1963,— № 7.
- 91.Рябинин И, А. Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем.— Л.: Судостроение, 1967.— 362 с.
- 92.Рябинин И. А. Логико-вероятностные методы и их создатели. — СПб.: ВВМИУ им. Дзержинского, 1998.—34 с.
- 93.Клемин, А.И. Надежность ядерных энергетических установок. Основы расчета / А.М. Клемин.— М.: Энергоатомиздат, 1987.— 344 с.
- 94.Клемин, А.И. Расчет надежности ядерных энергетических установок. Марковская модель / А.И. Клемин, В.С. Емельянов, В.Б.Морозов.— М.: Энергоиздат, 1982.- 208 с.
- 95.Клемин, А.М. Методы оценки надежности ядерных систем безопасности АЭС и их оборудования / А.И. Клемин, В.В. Морозов, Е.А. Шиверский // Атомная техника за рубежом.— 1982.— № 10.— С. 9-12.
- 96.Клемин,А.И. Структурная математическая модель надежности АЭС. Методика расчета / АМ.Клемин, РА. Песков, Э.В.Фролов // Атомная энергия.- 1981.- Т. 51.
- 97.Клемин, А.И. Количественный анализ надежности систем безопасности атомных станций при проектировании / А.И. Клемин, Ю.В. Швыряев, В.Б. Морозов, А.Ф.Барсуков II Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.- 1986.- №1.- С. 28-36.
- 98.Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев. - М.: Наука, 1965.
- 99.Клемин, А.И. Расчет надежности ядерных энергетических установок. Марковская модель / А.И. Клемин, В.С. Емельянов, В.Б.Морозов.— М.: Энергоиздат, 1982.- 208 с.

100. Акулова, Л.Г. О стохастической сложности вычисления надежности булевых систем / Л.Г. Акулова— Ярославль: ЯГУ, 1983 — 15 с. — Депон в ВИНТИ, №5885-83.
101. Шиверский, Е.А. Программа для ЭВМ расчета надежности блока АЭС и его систем с помощью метода «дерева отказов» / Е.А. Шиверский, А.И. Клемин, Е.Ф.Поляков // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физ. и техн. ЯР.- М., 1980.- № 1/10.- С. 59-63.
102. Швыряев, Ю.В. Влияние технического обслуживания на надежность систем безопасности АЭС / Ю.В. Швыряев, А.Ф.Барсуков, А.А.Деревянкин // Электрические станции.— 1984.— №6.— С. 12-13.
103. Швыряев, Ю.В. Обеспечение надежности наиболее ответственных систем АЭС / Ю.В. Швыряев, А.Ф. Барсуков, А.Л.Деревянкин // Электрические станции.- 1982.- № 1.- С. 4-8.
104. Лисанов, М.В. Анализ риска и декларирование безопасности объектов нефтяной и газовой промышленности / М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров // Сертификация и безопасность оборудования. 1998. №1. С.37-41.
105. Козлитин А.М., Яковлев Б.Н. Чрезвычайные ситуации техногенного характера. Прогнозирование и оценка: детерминированные методы количественной оценки опасностей техносферы: Учеб. пособие / Под ред. А.И. Попова. Саратов: СГТУ. 2000. 124 с.
106. Козлитин А.М., Попов А.И. Техничко-экономическое обоснование мероприятий по повышению безопасности склада пропилен-а, аммиака и хранилища жидких промотходов. Саратов: Саратов-ское региональное отделение Российской экологической академии, 1997. 130 с.
107. Махутов Н.А., Костин А.А., Костин А.И. Нормирование степени риска поражения людей при авариях на химически опасных объектах // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1998. Вып.2. С.36-49.
108. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей // Сборник методик №1 / В.И. Сидоров, А.А. Агапов,

- Б.Е. Гельфанд, Ю.А. Дадонов, М.В. Лисанов, В.Ф. Мартынюк, А.С. Печеркин, С.И. Сумской, А.А. Шаталов. М.: Госгортех-надзор РФ, НТЦ «Промышленная безопасность», 1999. 28 с.
109. Методика оценки последствий химических аварий // Сборник методик №1 / В.И. Сидоров, А.А. Агапов, Б.Е. Гельфанд, Ю.А. Дадонов, М.В. Лисанов, В.Ф. Мартынюк, А.С. Печеркин, С.И. Сумской, А.А. Шаталов. М.: Госгортехнадзор РФ, НТЦ «Промышленная безопасность», 1999. 83 с.
110. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах. Руководящий документ АК «Транснефть» / М.В. Лисанов, В.Ф. Мартынюк, А.С. Печеркин и др. М.: ОАО «АК «Транснефть», 1999, 94 с.
111. Оценка риска аварий на линейной части магистральных нефтепроводов / М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров, А.А. Швыряев, В.С. Сафонов и др. // Безопасность труда в промышленности. 1998. №9. С. 50-56.
112. Шаталов А.А, Ханухов Х.М., Воронец А.Е. Разработка нормативных документов по обеспечению безопасной эксплуатации сернокислотных резервуаров // Безопасность труда в промышленности. 1996. № 12. С.38-43.
113. Декларирование безопасности и страхование гражданской ответственности потенциально опасных предприятий Саратовской области: Организационно-методические материалы / А.М. Козлитин, Е.А. Ларин, А.И. Попов и др. Саратов: СГТУ, 1996. 172 с.
114. Винников, Б.И. Инженерно-ориентированный программный комплекс ИПК-ВАБ для совместного анализа надежности и безопасности АЭС с реакторами РБМК/ Б.И. Винников // [Электронный ресурс]: Библиотека МИФИ.– режим доступа : <http://library.mephi.ru/data/scientific-sessions/1999/5/240.html> (дата обращения 01.01.2013).

115. Чухин, С.Г. Социально-экономические критерии приемлемого радиационного риска новых радиационных технологий / С.Г. Чухин // Энергоатомиздат.– М.–1991,– с. 63.
116. Ковалев, Е.Е. Основы концепции приемлемого риска // Сб. Вопросы дозиметрии и защиты от излучений. М: Атомиздат, 1975. Вып. 14. С. 5.
117. Елохин, А.Н. К вопросу определения критериев приемлемого риска // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1994. Вып. 8. С. 42-51.
118. Требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности радиационных источников: НП-039-02: утв. Госатомнадзором России 18.11.02: введ. в действие с 10.05.03.–М.: Госатомнадзор России, 2002.
119. 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. Выпуск №2 (24). 2011. с. 12-15.
120. Надежность в технике. Термины и определения [Текст] : ГОСТ Р 53480-2009.– Изд. 2010.– введ. впервые ; введ. 01.01.2011.
121. Сигорский, В.П. Математический аппарат инженера. Изд. 2-е / В.П. Сигорский // Техніка.– К.– 1977,– 768 с.
122. Надежность в технике. Анализ дерева неисправностей [Текст] : ГОСТ Р 27.302-2009.– М.: Стандартиформ, 2011.– введ. впервые ; введ. 15.12.2009.
123. Ветошкин, А.Г. Надежность технических систем и техногенный риск / А.Г. Ветошкин // Изд-во ПГУАиС.– Пенза.– 2003,– С. 154.
124. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): Санитарные правила и нормативы. – М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 2010.
125. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы. – М.: Центр санитарно-эпидемиологического

нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 2009.

126. Ильин, К.И. Методика расчета экономического ущерба при радиационных авариях на объектах ядерного топливного цикла / К.И. Ильин, В.В. Светухин, В.Д. Рисованный // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции (г. Ставрополь, 25 апреля 2011 г.). – Ставрополь: Изд-во СевКавГТУ Сервисшкола, 2011. с. 266-272.
127. Василенко И.Я. Радиационный риск при облучении в малых дозах ничтожно мал / И.Я.Василенко, О.И.Василенко // [Электронный ресурс]: Красноуфимский монацит. Информация о хранении, переработке и производстве продукции.– режим доступа : <http://www.monazite.ru/rad/term/radiorisk> (дата обращения 01.01.2015).
128. Радиационная безопасность: Рекомендации МКРЗ 1990 г.: Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих // Энергоатомиздат.– М.– 1994.– публ. 60.– ч.1,– С. 192.
129. Радиационная безопасность: Рекомендации МКРЗ 1990 г. // Энергоатомиздат.– М.– 1994.– публ. 60.– ч.2,– С. 207.
130. Докл. науч. ком. ООН по действию атомной радиации ГА за 1988 г. (с приложениями).– М.: Мир, 1993.– Т.2,– С. 498-593.
131. Хроническая профессиональная лучевая болезнь. Болезни, вызываемые воздействием электромагнитных полей радиочастот (введение) [Электронный ресурс]: информационный сервер Medkurs.ru. – режим доступа: http://www.medkurs.ru/lecture6/occupational_disease/section1817/9270.html (дата обращения 01.01.2015).
132. Зимон, А.Д. Дезактивация / А.Д. Зимон, В.К. Пикалов // ИздАТ.– М.– 1994,– 336 с.
133. Методика оценки возможного экономического и экологического ущерба от реализации внутренних и внешних угроз на атомных станциях.– М: ВНИИАЭС, 2004 г.

134. Ильин, К.И. Матрица радиационного риска как инструмент ранжирования аварий на радиационно опасных объектах/ К.И. Ильин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. т. 14. №4(4). 2012. с. 957-961.
135. Ильин, К.И. Алгоритм формирования перечня ядерно- и радиационно опасных аварийных ситуаций при анализе риска на объектах ядерного топливного цикла / К.И. Ильин, В.В. Светухин, В.Д. Кизин // Автоматизация процессов управления. Выпуск №4 (22). 2010. с. 31-34.
136. Международная консультативная группа по ядерной безопасности. «Основные принципы безопасности атомных электростанций». Серия изданий МАГАТЭ по безопасности № 75-INSAG-3, Rev.1, INSAG-12. МАГАТЭ, Вена, 1999 г., с.17.
137. 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. Выпуск №11. 2012. с. 42-45.
138. 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.
139. Выборочное обследование по форме № 57-Т за октябрь 2013 г. о заработной плате по категориям персонала и профессиональным группам работников // [Электронный ресурс]: Официальный сайт федеральной службы государственной статистики РФ.– режим доступа: http://www.gks.ru/free_doc/2014/trud/wages2013.rar (дата обращения 05.05.2015).
140. Калинин В.И., Крицкий В.Г., Токаренко А.И. и др. Хранение отработавшего ядерного топлива энергетических реакторов [Электронный ресурс].– 2009.– ULR: <http://www.givnpiet.ru/Images/obzor.pdf> (дата обращения 01.01.2013).

141. Чечеткин, Ю.В. Обращение с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом в ГНЦ РФ НИИАР.– Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР».– 2006,– 32 с.
142. Ефаров С.А. Анализ радиационных последствий аварий в хранилище отработанного ядерного топлива // Сб. рефератов и статей новые технологии для энергетики, промышленности и строительства.– Димитровград: ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», 1998.
143. Чечеткин Ю.В., Грачев А.Ф. Обращение с радиоактивными отходами.– Самара: Самар. Дом печати, 2000.– 248 с.
144. Гремячкин В.А., Ильин К.И., Кизин В.Д. и др. Анализ ядерного и радиационного риска при эксплуатации центрального хранилища для отработавших тепловыделяющих сборок // Сборник трудов: Ежеквартальный сборник науч. статей. – Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2010. – Вып. 3. – с. 60-64.
145. Гремячкин В.А., Маклаков В.В., Святкин М.Н. Оптимизация вывоза отработавшего топлива и оценка возможности освобождения бассейна хранилища ОЯТ НИИАР в рамках ФЦП «ЯРБ» [Электронный ресурс].– 2012.– ULR: <http://www.atomic-energy.ru/presentations/33117> (дата обращения 01.07.2012).
146. Чечеткин Ю.В., Чечеткина З.И., Грачев А.Ф. и др. Топливо исследовательских реакторов, его хранение и транспортирование // Под общей редакцией профессора, д.т.н. Ю.В. Чечеткина. – Димитровград: ДИТУД, УлГТУ.– 2005 г.
147. Оценка воздействия на окружающую среду для размещения исследовательской ядерной установки Многоцелевой исследовательский реактор на быстрых нейтронах (МБИР) в пределах промплощадки ОАО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград, Ульяновская область. Книга 1 [Электронный ресурс].– 2011.– ULR: http://www.niiar.ru/sites/default/files/ovos_book1.pdf (дата обращения 01.07.2012).

148. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (ОПБ ОЯТЦ) : НП-016-2000 : утв. постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 02.12.2005 №11 : ввод в действие с 01.05.2006.
149. Правила безопасности при хранении и транспортировании ядерного топлива на объектах использования атомной энергии : НП- 061-2000 : утв. постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30.12.2005 №23 : ввод в действие с 01.05.2006.
150. Правила физической защиты радиационных источников, пунктов хранения, радиоактивных веществ : утв. Постановлением Госатомнадзора России от 16.01.2002 №3 : введены в действие с 01.06.2002.
151. Гигиенические требования к проектированию предприятий и установок атомной промышленности (СПП ПУАП-03) : СанПиН 2.6.1.07-03 : утв. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 04.02.2003 № 6 : введены в действие с 01.06.2003.

Таблицы параметров элементов используемых в ТС

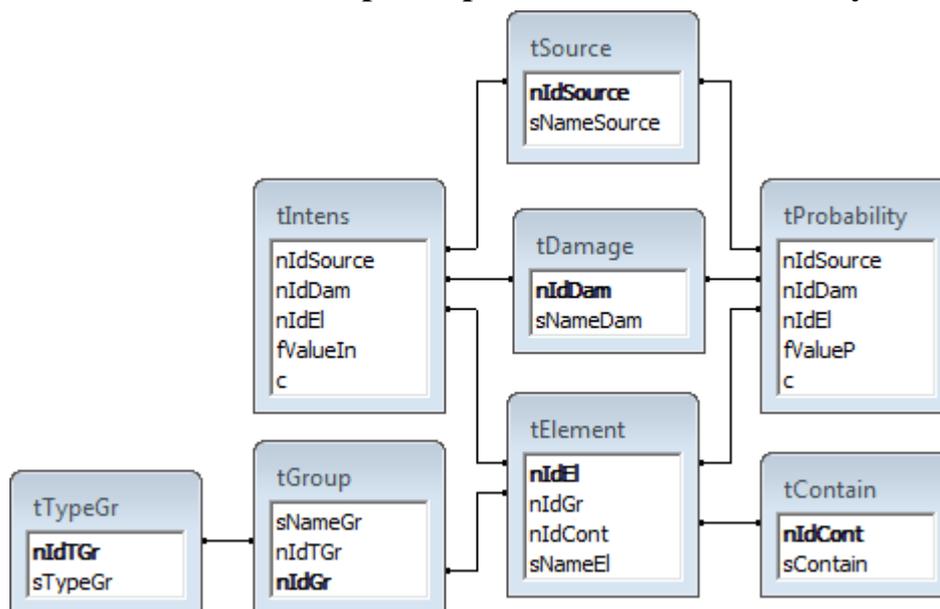


Рис. 1. Структура взаимосвязи таблиц элементов используемых в ТС.

На рисунке 1 представлена структура базы данных элементов используемых в ТС. Она состоит из 8, связанных между собой, таблиц. Данная БД может быть заполнена как до начала процедур анализа риска аварий, так и во время их выполнения при описании конкретного используемого оборудования на рассматриваемом объекте, и используется в качестве источника исходных данных об отказах оборудования.

tTypeGr – содержит информацию о четырех основных категориях, по которым распределено все оборудование, используемое в ТС, а именно:

- механическое оборудование;
- электрическое оборудование;
- контрольно-измерительные приборы и аппаратура управления;
- аварийные источники энергоснабжения.

Таблица 1 – Список полей в таблице tTypeGr.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nIdTGr	Счетчик	Идентификатор категории
sTypeGr	Текстовый (255)	Наименование основных категорий оборудования

tGroup – содержит информацию о группах типового оборудования (трубопроводы, теплообменники, насосы, клапаны, вентили, задвижки и т.д.)

Таблица 2 – Список полей в таблице tGroup.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nIdTGr	Числовой	Идентификатор категории
nIdGr	Счетчик	Идентификатор группы типового оборудования
sNameGr	Текстовый (255)	Наименование групп типового

		оборудования
--	--	--------------

tElement – содержит информацию о конкретном оборудовании, используемом в СТ.

Таблица 3 – Список полей в таблице tElement.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nIdEl	Счетчик	Идентификатор конкретного оборудования
nIdGr	Числовой	Идентификатор группы типового оборудования
nIdCont	Числовой	Информация о типе оборудования (1-ЭТСИ; 2-ЭТСС; 3-СБ)
sNameEl	Текстовый (255)	Наименование конкретного оборудования

tContain – содержит информацию о возможных типах оборудования (ЭТСС - элементы технических систем, содержащие (при нормальной эксплуатации или в случае аварии) опасные вещества, хранящиеся или используемые на рассматриваемом объекте; ЭТСИ - элементы технических систем, изменение состояния которых способно привести к изменению объекта размещения ОВ).

Таблица 4 – Список полей в таблице tContain.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nIdCont	Счетчик	Идентификатор типа оборудования
sContain	Текстовый (50)	Тип оборудования: содержит (ЭТСС), не содержит (ЭТСИ и СБ) ОВ

tDamage – содержит информацию о типах возможных отказов (течь, невыполнение функции, ложное срабатывание и т.д.).

Таблица 5 – Список полей в таблице tDamage.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nIdDam	Счетчик	Идентификатор типа отказа
sNameDam	Текстовый (255)	Наименование типа отказа оборудования

tSource – содержит информацию об источниках сведений (вероятности и/или интенсивности отказов) об отказах оборудования, используемого на РОО.

Таблица 6 – Список полей в таблице tSource.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nIdSource	Счетчик	Идентификатор источника
sNameSource	Текстовый (255)	Выходные данные источника

tProbability – содержит информацию о вероятности возникновения отказа определенного типа у конкретного оборудования.

Таблица 7 – Список полей в таблице tProbability.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nIdSource	Числовой	Идентификатор источника
nIdDam	Числовой	Идентификатор типа отказа

nIdE1	Числовой	Идентификатор конкретного оборудования
fValueP	Числовой	Значение вероятности отказа данного типа для конкретного оборудования
c	Счетчик	Идентификатор сведений о вероятности отказа

tIntens – содержит информацию об интенсивности возникновения отказа определенного типа у конкретного оборудования.

Таблица 8 – Список полей в таблице tIntens.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nIdSource	Числовой	Идентификатор источника
nIdDam	Числовой	Идентификатор типа отказа
nIdE1	Числовой	Идентификатор конкретного оборудования
fValueIn	Числовой	Значение интенсивности отказа данного типа для конкретного оборудования
c	Счетчик	Идентификатор сведений об интенсивности отказа

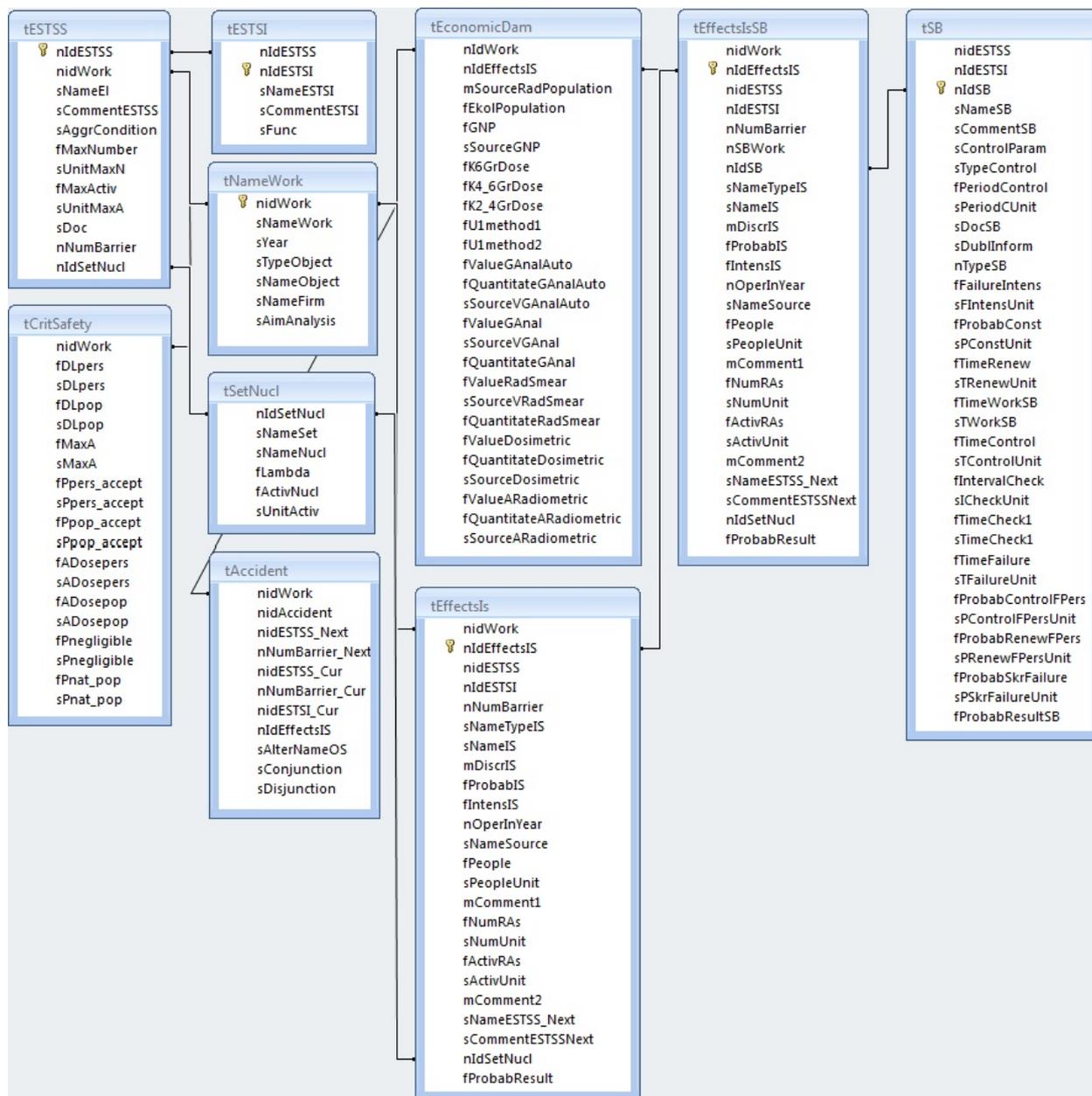


Рис. 2. Структура рабочих таблиц ПК «APES ONFC».

На рисунке 2 представлена структура рабочих таблиц ПК «APES ONFC». Она состоит из 10 связанных между собой таблиц. Данные таблицы заполняются в процессе проведения анализа опасных событий и аварий, и используются в качестве хранилища основных результатов исследования уровня безопасности рассматриваемого объекта.

tNameWork – содержит информацию о работе по исследованию уровня безопасности ТС.

Таблица 9 – Список полей в таблице tNameWork.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nidWork	Счетчик	Идентификатор работы по исследованию уровня безопасности объекта
sNameWork	Текстовый (255)	Наименование работы по исследованию уровня безопасности

		объекта
sYear	Текстовый (4)	Год в котором была выполнена работа
sTypeObject	Текстовый (255)	Наименование типа объекта
sNameObject	Текстовый (255)	Наименование объекта
sNameFirm	Текстовый (255)	Наименование организации эксплуатирующей объект
sAimAnalysis	Текстовый (255)	Цель проведения анализа

tCritSafety – содержит информацию о выбранных для проекта критериях безопасности (параметрах приемлемого и недопустимого риска).

Таблица 10 –Список полей в таблице tCritSafety.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nidWork	Числовой	Идентификатор работы по исследованию уровня безопасности объекта
fDLpers	Числовой	дозовый предел при облучении персонала
sDLpers	Текстовый (10)	единицы измерения дозового предела при облучении персонала
fDLpop	Числовой	дозовый предел при облучении населения
sDLpop	Текстовый (10)	единицы измерения дозового предела при облучении населения
fMaxA	Числовой	максимальная допустимая активность выброса РВ (в пересчете на 131-И)
sMaxA	Текстовый (10)	единицы измерения максимальной допустимой активности выброса РВ (в пересчете на 131-И)
fPpers_accept	Числовой	допустимое значение произведения вероятности события, приводящего к облучению персонала, и вероятности смерти, связанной с облучением
sPpers_accept	Текстовый (10)	единицы измерения допустимого значения произведения вероятности события, приводящего к облучению персонала, и вероятности смерти, связанной с облучением
fPpop_accept	Числовой	допустимое значение произведения вероятности события, приводящего к облучению населения, и вероятности смерти, связанной с облучением
sPpop_accept	Текстовый (10)	единицы измерения допустимого значения произведения вероятности события, приводящего к облучению населения, и вероятности смерти, связанной с облучением

		чением
fADosepers	Числовой	разрешенная доза переоблучения персонала
sADosepers	Текстовый (10)	единицы измерения разрешенной дозы переоблучения персонала
fADosepop	Числовой	значение дозы переоблучения населения, свыше которой необходимо принятие решения о временном отселении
sADosepop	Текстовый (10)	единицы измерения значения дозы переоблучения населения, свыше которой необходимо принятие решения о временном отселении
fPnegligible	Числовой	значение минимально значимой вероятности проявления опасности
sPnegligible	Текстовый (10)	единицы измерения значения минимально значимой вероятности проявления опасности
fPnat_pop	Числовой	вероятность смерти людей вследствие естественных причин
sPnat_pop	Текстовый (10)	единицы измерения вероятности смерти людей вследствие естественных причин

tSetNucl – содержит информацию о наборах радионуклидов, содержащихся в ЭТСС.

Таблица 11 –Список полей в таблице tSetNucl.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nIdSetNucl	Числовой	Идентификатор набора радионуклидов, содержащихся в ЭТСС
sNameSet	Текстовый (255)	Наименование набора радионуклидов, содержащихся в ЭТСС
sNameNucl	Текстовый (10)	Наименование радионуклида
fLambda	Числовой	Постоянная распада радионуклида
fActivNucl	Числовой	Активность данного радионуклида в наборе
sUnitActiv	Текстовый (10)	Единицы измерения активности радионуклида в наборе (Бк)

tETSS – содержит информацию об используемых на объекте ЭТСС.

Таблица 12 –Список полей в таблице tETSS.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nIdETSS	Счетчик	Идентификатор ЭТСС
nidWork	Числовой	Идентификатор работы по исследованию уровня безопасно-

		сти объекта
sNameEl	Текстовый (255)	Наименование конкретного оборудования
sCommentETSS	Текстовый (255)	Дополнительная информация по данному ЭТСС
sAggrCondition	Текстовый (50)	Агрегатное состояние ОВ в данном ЭТСС
fMaxNumber	Числовой	Максимальное для ЭТСС количество ОВ
sUnitMaxN	Текстовый (50)	Единицы измерения максимального для ЭТСС количества ОВ (кг, л, т и т.д.)
fMaxActiv	Числовой	Максимальная для ЭТСС активность ОВ
sUnitMaxA	Текстовый (50)	Единицы измерения максимальной для ЭТСС удельной активности ОВ (Бк/кг, Бк/л и т.д.)
sDoc	Текстовый (255)	Документ определяющий максимальную для ЭТСС удельную активность ОВ
nNumBarrier	Числовой	Номер барьера безопасности в схеме глубокоэшелонированной защиты, реализованной на объекте
nIdSetNucl	Числовой	Идентификатор набора радионуклидов, содержащихся в ЭТСС

tETSI – содержит информацию об используемых на объекте ЭТСИ.

Таблица 13 –Список полей в таблице tETSI.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nIdETSS	Числовой	Идентификатор ЭТСС
nIdETSI	Счетчик	Идентификатор ЭТСИ
sNameETSI	Текстовый (255)	Наименование конкретного оборудования
sCommentETSI	Текстовый (255)	Дополнительная информация по данному ЭТСИ
sFunc	Текстовый (255)	выполняемая в технологическом процессе функция ЭТСИ

tEffectsIs и tEffectsIsSB – содержат информацию о вероятностях и последствиях отказов используемого в ТС оборудования. tEffectsIs используется при построении ДО исходного проекта объекта, а tEffectsIsSB – для ДО проекта объекта с учетом СБ. Т.к. рассматриваемые таблицы имеют большое число одинаковых полей в таблице 13 представлено описание всех встречающихся в обоих таблицах полей.

Таблица 14 –Список полей в таблицах tEffectsIs и tEffectsIsSB.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nIdWork	Числовой	Идентификатор работы по исследованию уровня безопасности объекта

nIdEffectsIS	Счетчик	Идентификатор события с отказом оборудования
nETSS_ETSI	Числовой	Выбор: 0-ЭТСС; 1- ЭТСИ; 2-СБ
nIdETSS_ETSI	Числовой	Идентификатор ЭТСС или ЭТСИ
nNumBarrier	Числовой	Номер барьера безопасности в схеме глубокоэшелонированной защиты, реализованной на объекте
nIdSB	Числовой	Идентификатор системы безопасности
sNameTypeIS	Текстовый (255)	Наименование типа исходного события, приведшего к отказу оборудования
sNameIS	Текстовый (255)	Наименование исходного события, приведшего к отказу оборудования
mDiscrIS	Поле MEMO	Краткое описание исходного события, приведшего к отказу оборудования
fProbabIS	Числовой	Вероятность возникновения исходного события, приведшего к отказу оборудования, 1/год
fIntensIS	Числовой	Интенсивность возникновения исходного события, приведшего к отказу оборудования, 1/треб
nOperInYear	Числовой	Количество операций в год
sNameSource	Текстовый (255)	Наименование источника регламентирующего количество операций в год
fPeople	Числовой	Величина эффективной дозы (либо мощности дозы) воздействия на персонал
sPeopleUnit	Текстовый (50)	Единица измерения эффективной дозы воздействия на персонал (либо мощности дозы)
mComment1	Поле MEMO	Описание воздействия на персонал
fNumRAs	Числовой	Количество выброшенных в следующий ЭТСС ОВ
sNumUnit	Текстовый (50)	Единица измерения количества выброшенных в следующий ЭТСС ОВ
fActivRAs	Числовой	Активность выброшенных в следующий ЭТСС ОВ
sActivUnit	Текстовый (50)	Единица измерения активности выброшенных в следующий ЭТСС ОВ
mComment2	Поле MEMO	Описание события с выбросом в следующий ЭТСС ОВ
sNameETSS_Next	Текстовый (255)	Наименование конкретного оборудования, в которое происходит выход ОВ

sCommentETSSNext	Текстовый (255)	Дополнительная информация по ЭТСС следующего уровня
nIdSetNucl	Числовой	Идентификатор набора радионуклидов, содержащихся в ЭТСС следующего уровня
fProbabResult	Числовой	Значение итоговой вероятности события с учетом перехода от одного барьера безопасности к другому

tSB – содержит информацию о используемых в ТС системах безопасности.

Таблица 15 –Список полей в таблице tSB.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nETSS_ETSI	Числовой	Выбор: 0-ЭТСС; 1- ЭТСИ
nIdETSS_ETSI	Числовой	Идентификатор ЭТСС или ЭТСИ
nIdSB	Числовой	Идентификатор системы безопасности
sNameSB	Текстовый (255)	Наименование системы безопасности
sCommentSB	Текстовый (255)	Дополнительная информация по данной СБ
sControlParam	Текстовый (255)	Контролируемый системой безопасности параметр (давление, температура и т.д.)
sTypeControl	Текстовый (50)	Тип контроля автоматический-0 или вручную-1
fPeriodControl	Числовой	Периодичность контроля параметра (1 раз/год, 1 раз/мин и т.п.)
sPeriodCUnit	Текстовый (50)	Единица измерения периодичности контроля параметра
sDocSB	Текстовый (255)	Выходные данные источника сведений о периодичности контроля СБ
sDublInform	Текстовый (255)	Описание дублирования информации о работе СБ (например на пульте оператора)
nTypeSB	Числовой	Тип системы безопасности: контролируемый, неконтролируемый, восстанавливаемый, невосстанавливаемый и т.д.
fFailureIntens	Числовой	Интенсивность отказа элемента СБ
sFIntensUnit	Текстовый (50)	Единица измерения интенсивности отказа элемента СБ
fProbabConst	Числовой	Постоянная составляющая вероятности отказа на требование
sPConstUnit	Текстовый (50)	Единица измерения постоянной составляющей вероятности отказа на требование

fTimeRenew	Числовой	Время восстановления элемента СБ
sTRenewUnit	Текстовый (50)	Единица измерения времени восстановления элемента СБ
fTimeWorkSB	Числовой	Время наблюдения за элементом СБ
sTWorkSB	Текстовый (50)	Единица измерения времени наблюдения за элементом СБ
fTimeControl	Числовой	Время контроля элемента СБ
sTControlUnit	Текстовый (50)	Единица измерения времени контроля элемента СБ
fIntervalCheck	Числовой	Интервал времени между проверками элемента СБ
sICheckUnit	Текстовый (50)	Единица измерения интервала времени между проверками элемента СБ
fTimeCheck1	Числовой	Время до первой проверки элемента СБ
sTimeCheck1	Текстовый (50)	Единица измерения времени до первой проверки элемента СБ
fTimeFailure	Числовой	Время отказа либо допустимое время восстановления в зависимости от типа элемента СБ
sTFailureUnit	Текстовый (50)	Единица измерения времени отказа либо допустимого времени восстановления в зависимости от типа элемента СБ
fProbabControlFPers	Числовой	вероятность отказа элемента СБ в период контроля из-за ошибки персонала
sPControlFPersUnit	Текстовый (50)	Единица измерения вероятности отказа элемента СБ в период контроля из-за ошибки персонала
fProbabRenewFPers	Числовой	вероятность отказа элемента СБ в период восстановления из-за ошибки персонала
sPRenewFPersUnit	Текстовый (50)	Единица измерения вероятности отказа элемента СБ в период восстановления из-за ошибки персонала
fProbabSkrFailure	Числовой	вероятность неработоспособного состояния системы контроля к моменту скрытого отказа элемента
sPSkrFailureUnit	Текстовый (50)	Единица измерения вероятности неработоспособного состояния системы контроля к моменту скрытого отказа элемента
fProbabResultSB	Числовой	Итоговая вероятность выхода из строя СБ определенного вида, 1/год

tEconomicDam – содержит информацию об экономических последствиях

возможных аварий на РОО.

Таблица 16 –Список полей в таблице tEconomicDam.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nidWork	Числовой	Идентификатор работы по исследованию уровня безопасности объекта
nIdEffectsIS	Числовой	идентификатор неблагоприятного события
mSourceRadPopulation	Поле MEMO	способ расчета доз облучения населения
fEkolPopulation	Числовой	коллективная доза облучения населения в Зв
fGNP	Числовой	величина 1 годового душевого национального дохода, тыс. руб.
sSourceGNP	Текстовый (255)	источник сведений о годовом душевом национальном доходе
fK6GrDose	Числовой	количество лиц из населения, облученных дозой свыше 6 Гр, чел
fK4_6GrDose	Числовой	количество лиц из населения, облученных дозой 4-6 Гр, чел
fK2_4GrDose	Числовой	количество лиц из населения, облученных дозой 2-4 Гр, чел
fU1method1	Числовой	экономическая оценка вреда для здоровья населения способ 1, тыс.руб.
fU1method2	Числовой	экономическая оценка вреда для здоровья населения способ 2, тыс.руб.
fValueGAnalAuto	Числовой	стоимость гамма-спектрометрических исследований проб с выездом на объект, руб. проба
fQuantitateGAnalAuto	Числовой	количество гамма-спектрометрических исследований проб с выездом на объект, проб
sSourceVGAnalAuto	Текстовый (255)	источник сведений о стоимости гамма-спектрометрических исследований проб с выездом на объект
fValueGAnal	Числовой	стоимость гамма-спектрометрических исследований проб без выезда на объект, руб. проба
sSourceVGAnal	Текстовый (255)	источник сведений о стоимости гамма-спектрометрических исследований проб без выезда на объект
fQuantitateGAnal	Числовой	количество гамма-спектрометрических исследований проб без выезда на объект,

		проб
fValueRadSmear	Числовой	стоимость контроля радиоактивной загрязненности методом снятия мазка, руб.мазок
sSourceVRadSmear	Текстовый (255)	источник сведений о стоимости контроля радиоактивной загрязненности методом снятия мазка
fQuantitateRadSmear	Числовой	количество мазков для контроля радиоактивной загрязненности методом снятия мазка, мазков
fValueDosimetric	Числовой	стоимость дозиметрических и радиометрических измерений, руб. 10 точек
fQuantitateDosimetric	Числовой	количество дозиметрических и радиометрических измерений по 10 точек, 10 точек
sSourceDosimetric	Текстовый (255)	источник сведений о стоимости дозиметрических и радиометрических измерений
fValueARadiometric	Числовой	стоимость альфа- радиометрических измерений, руб. кв.м
fQuantitateARadiometric	Числовой	количество альфа- радиометрических измерений, кв.м
sSourceARadiometric	Текстовый (255)	источник сведений о стоимости альфа- радиометрических измерений

tAccident – содержит информацию об опасных событиях и их взаимосвязях между собой.

Таблица 17 –Список полей в таблице tAccident.

Имя столбца	Тип данных	Описание
nidWork	Числовой	Идентификатор работы по исследованию уровня безопасности объекта
nidAccident	Числовой	идентификатор аварии
nidETSS_Next	Числовой	идентификатор ЭТСС следующего уровня при отказе
nNumBarrier_Next	Числовой	уровень следующего ЭТСС в схеме глубокоэшелонированной защиты
nidETSS_Cur	Числовой	идентификатор ЭТСС текущего уровня при отказе
nNumBarrier_Cur	Числовой	уровень текущего ЭТСС в схеме глубокоэшелонированной защиты
nidETSI_Cur	Числовой	идентификатор ЭТСИ текущего уровня при отказе (связан с ЭТСС текущего уровня)
nIdEffectsIS	Числовой	идентификатор опасного события
sAlterNameOS	Текстовый (255)	альтернативное название опасного события (для отображения в дереве)

sConjunction	Текстовый (255)	перечень опасных событий связанных с текущим опасным событием конъюнктивной связью (записываются через запятую)
sDisjunction	Текстовый (255)	перечень опасных событий связанных с текущим опасным событием дизъюнктивной связью (записываются через запятую)

Описание программного комплекса

Главная форма

При запуске программного комплекса на экране монитора отображается главная форма (см. рис. 1).

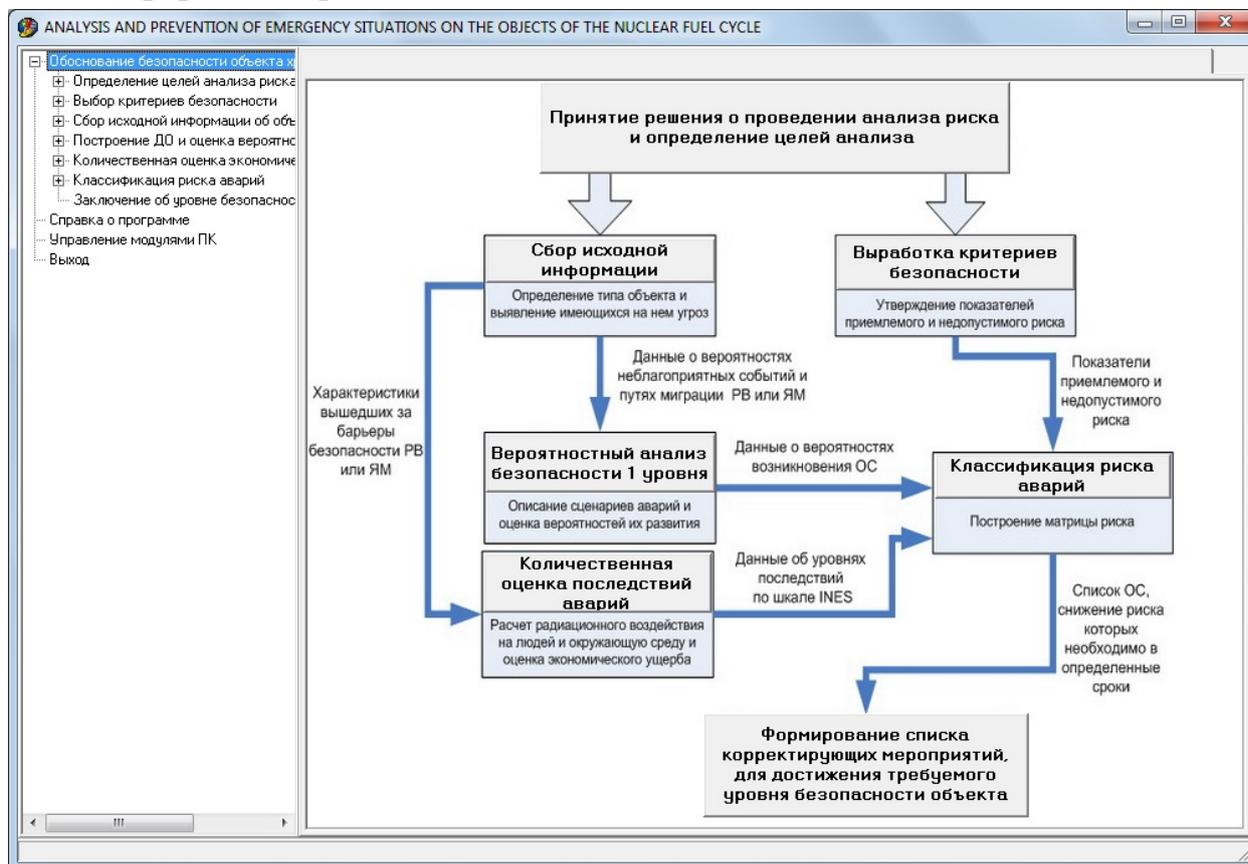


Рис. 1. Главная Форма ПК APES ONFC.

Слева на главной форме представлен навигатор для более удобного перемещения по модулям программы. Навигатор состоит из следующих элементов:

Обоснование безопасности объекта

Определение целей анализа риска

Наименование проекта

Цель анализа

Выбор критериев безопасности

Справочная информация о критериях безопасности

Определение критериев безопасности

Сбор исходной информации об объекте

Создание вербальной модели объекта

Перечень ЭТСС и ЭТСИ

Перечень ОС

Построение ДО и оценка вероятности аварий

Построение ДО исходного проекта

Дополнение исходной модели объекта СБ

Построение ДО объекта с СБ

Количественная оценка экономического ущерба аварий

Экономическая оценка вреда для здоровья людей

Затраты на работы по ликвидации последствий аварий

Итоговые данные об ущербе

Классификация риска аварий

Построение матрицы риска

Рекомендации по планированию корректирующих мероприятий

Заключение об уровне безопасности объекта

Управление модулями ПК

Выход

Следует отметить, что для навигатора реализована возможность добавления новых модулей и запуск всех модулей.

Остальная часть формы занята схемой работы программы, при нажатии на соответствующие блоки на рисунке также осуществляется переход в конкретный модуль программы.

При переходе на любой из модулей программного комплекса открывается диалоговое окно (см. рис. 2), в котором с помощью элемента `RadioButton` предусматривается 2 варианта дальнейшей работы:

1– создать новый проект.

2– открыть проект (производится выбор проекта из списка формируемого в базе данных).

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход в модуль «Определение целей анализа риска».

По нажатию на кнопку «Закрыть» происходит полное закрытие программного комплекса.

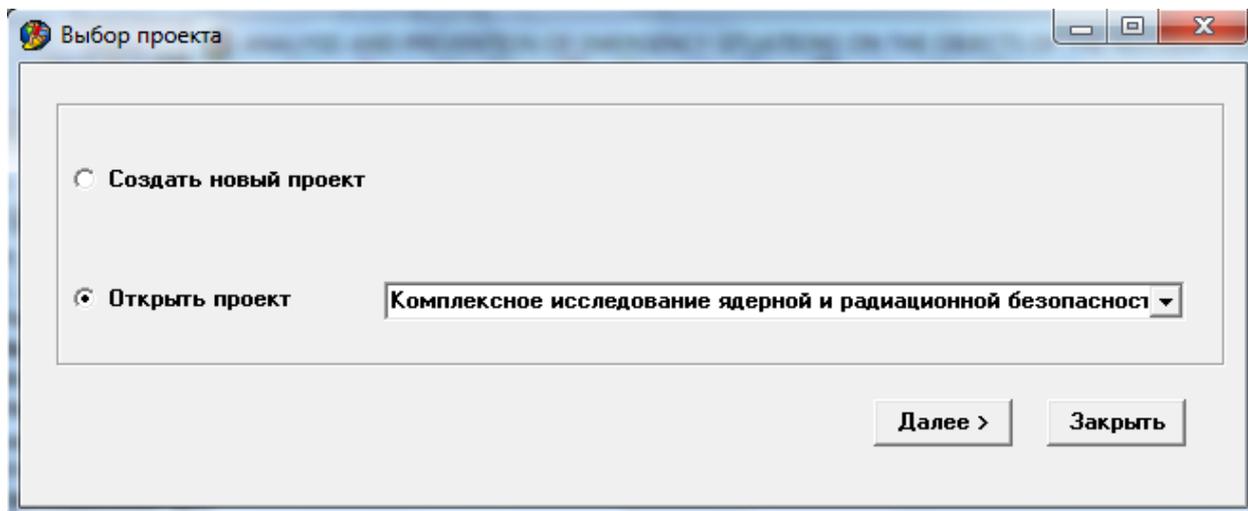


Рис. 2. Диалоговое окно «Выбор проекта»

Определение целей анализа риска

Модуль «Определение целей анализа риска» состоит из двух форм: «Наименование проекта» и «Цель анализа».

Форма «Наименование проекта»

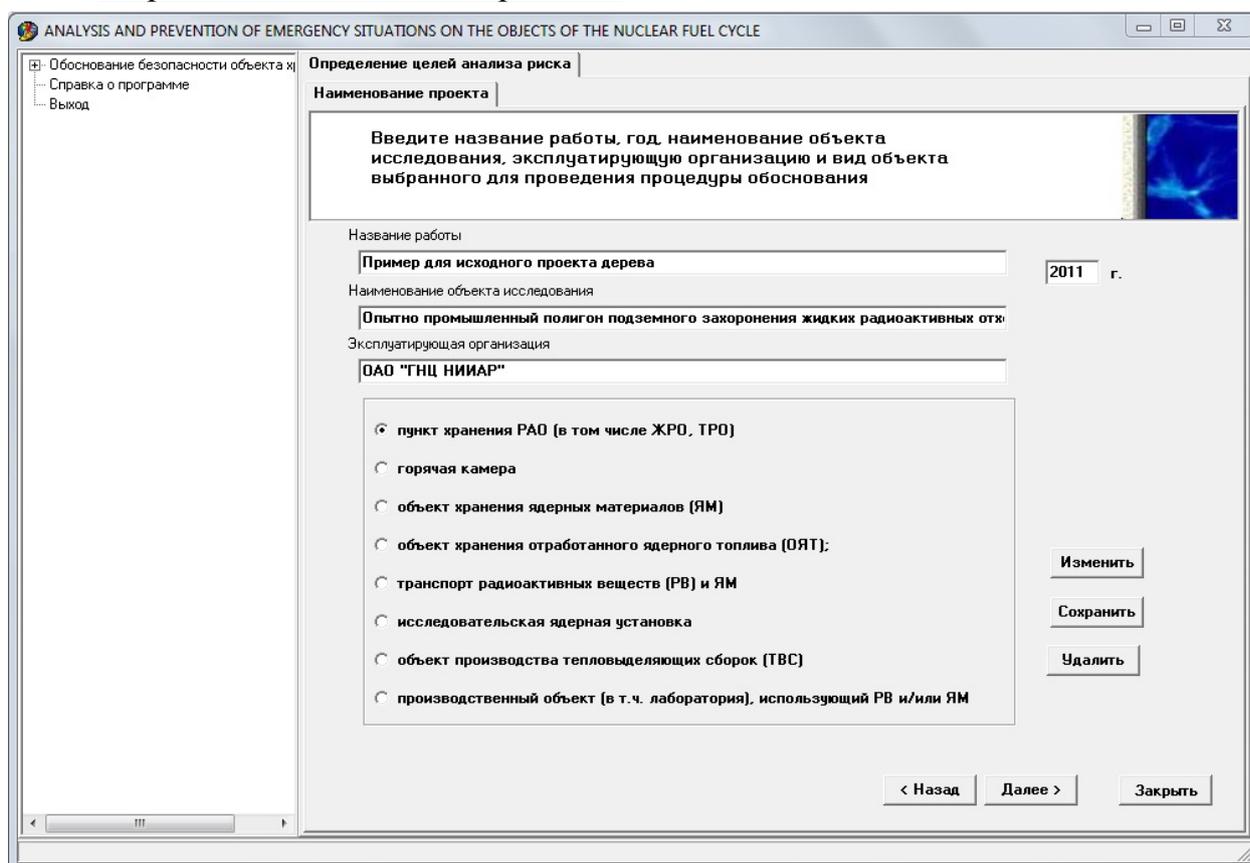


Рис. 3. Форма «Наименование проекта».

В рабочем окне формы (см. рис. 3) необходимо заполнить основные сведения о проекте:

- 1– название работы
- 2– год выполнения
- 3– наименование объекта исследования

4— эксплуатирующая организация

5—тип объекта выбранного для анализа

По нажатию на кнопку «Сохранить» происходит сохранение данных в таблицу tNameWork.

По нажатию на кнопку «Удалить» происходит удаление данных из таблицы tNameWork.

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на форму «Цель анализа».

По нажатию на кнопку «Назад» открывается диалоговое окно «Выбор проекта» (см. рис. 2) для выбора дальнейших действий.

По нажатию на кнопку «Заккрыть» происходит переход на главную форму.

Форма «Цель анализа»

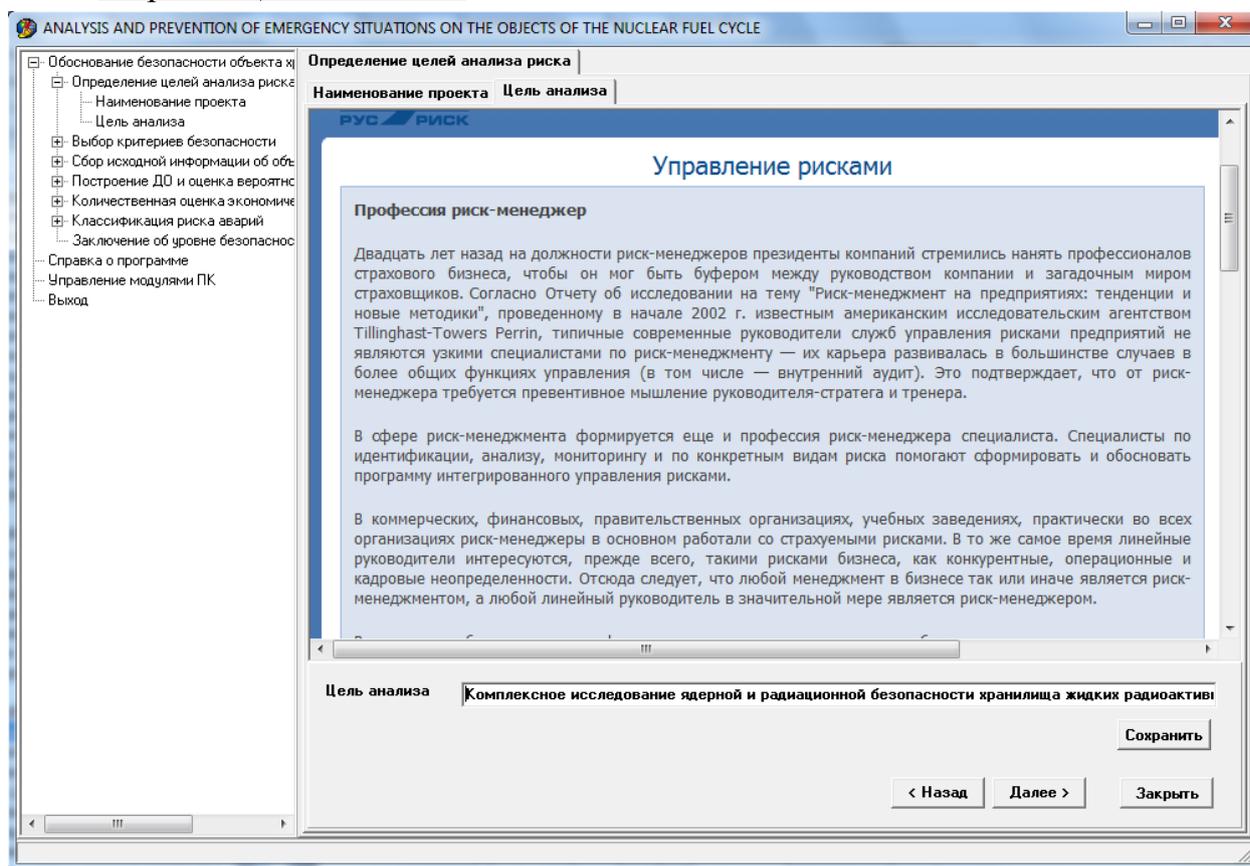


Рис. 4. Форма «Цель анализа»

При переходе на форму в рабочем окне открывается информационное окно (см. рис. 4).

В качестве информационного материала на странице представлены: основные определения, выдержки из нормативной и специализированной литературы, а также ссылки на web-ресурсы по тематике связанной с анализом риска на ОПО.

В основной части странички даны основные варианты целей, преследуемых при проведении анализа риска на ОПО. С краткой характеристикой каж-

дой из них.

Далее пользователем производится выбор одной из предложенных целей анализа (наиболее полно удовлетворяющую требованиям заказчика) либо описание собственной цели.

По нажатию на кнопку «Сохранить» происходит сохранение данных в таблицу tNameWork.

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход в модуль «Выбор критериев безопасности».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на форму «Наименование проекта».

По нажатию на кнопку «Закреть» происходит переход на главную форму.

Выбор критериев безопасности

Данный модуль предназначен для определения критериев безопасности, которым должен соответствовать рассматриваемый ОПО. Модуль состоит из двух форм: «Справочная информация о критериях безопасности» и «Определение критериев безопасности».

Форма «Справочная информация о критериях безопасности»

В рабочей области формы «Справочная информация о критериях безопасности» открывается окно в виде html странички (см. рис. 5), в котором представлены сведения о возможных критериях безопасности со ссылками на законодательно-нормативную документацию.

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на форму «Определение критериев безопасности».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на форму «Цель анализа».

По нажатию на кнопку «Закреть» происходит переход на главную форму.

Форма «Определение критериев безопасности»

Форма относится к группе экранных форм предназначенных для заполнения необходимыми для анализа объекта сведениями. В рабочем окне (см. рис. 6) необходимо заполнить требуемые для установления приемлемого и недопустимого риска критерии, описанные в пункте 2.2:

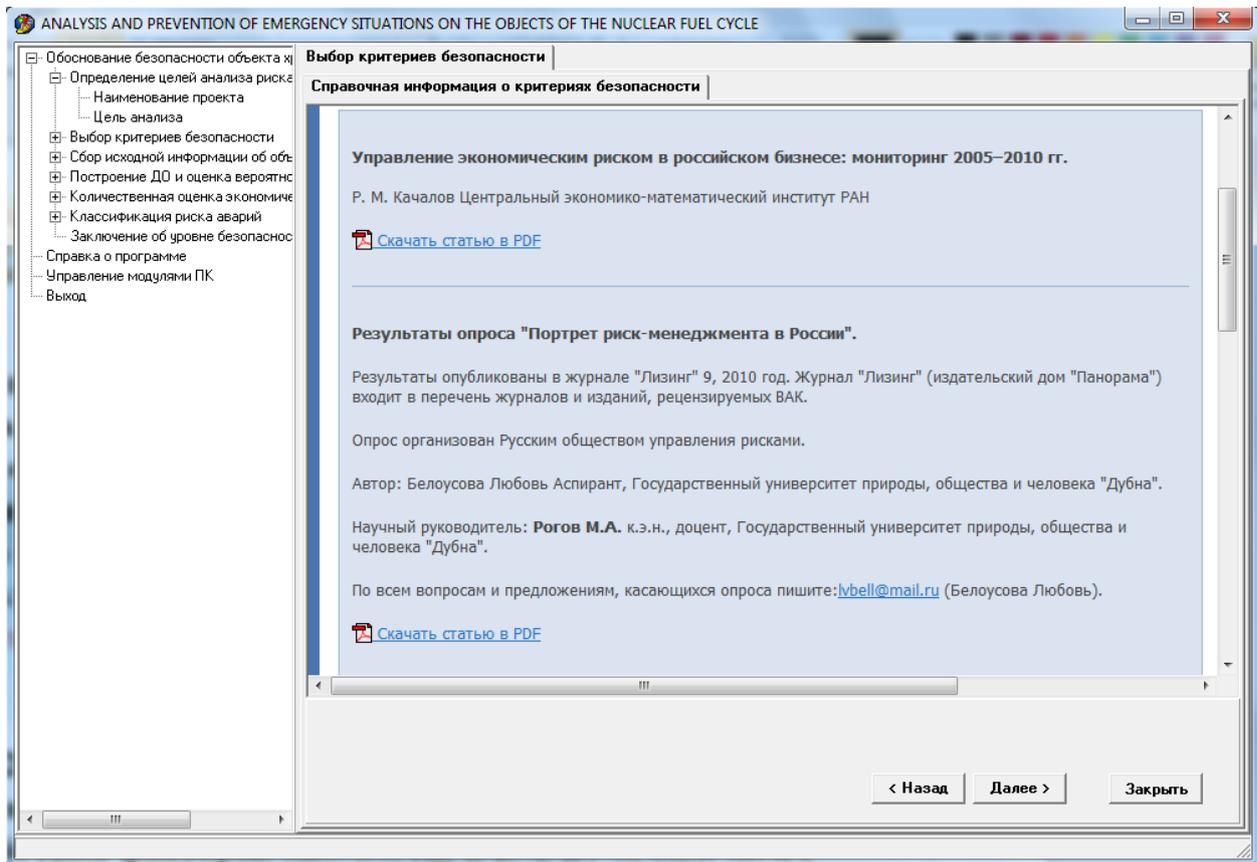


Рис. 5. Форма «Справочная информация о критериях безопасности»

- 1– дозовый предел при облучении персонала;
 - 2– дозовый предел при облучении населения;
 - 3– максимальная допустимая активность выброса РВ в пересчете на ^{131}I (в окружающую среду из РОО, создающая при наиболее неблагоприятных метеорологических условиях индивидуальную дозу для населения на уровне дозового предела для населения);
 - 4– допустимое значение произведения вероятности события, приводящего к облучению персонала, и вероятности смерти, связанной с облучением;
 - 5– допустимое значение произведения вероятности события, приводящего к облучению населения, и вероятности смерти, связанной с облучением.
 - 6– разрешенная доза переоблучения персонала;
 - 7– значение дозы переоблучения населения, свыше которой необходимо принятие решения о временном отселении;
 - 8– значение минимально значимой вероятности проявления опасности;
 - 9– вероятность смерти людей вследствие естественных причин.
- По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход в модуль «Сбор исходной информации об объекте».
- По нажатию на кнопку «назад» происходит переход на форму «Справочная информация о критериях безопасности».
- По нажатию на кнопку «Заккрыть» происходит переход на главную форму.

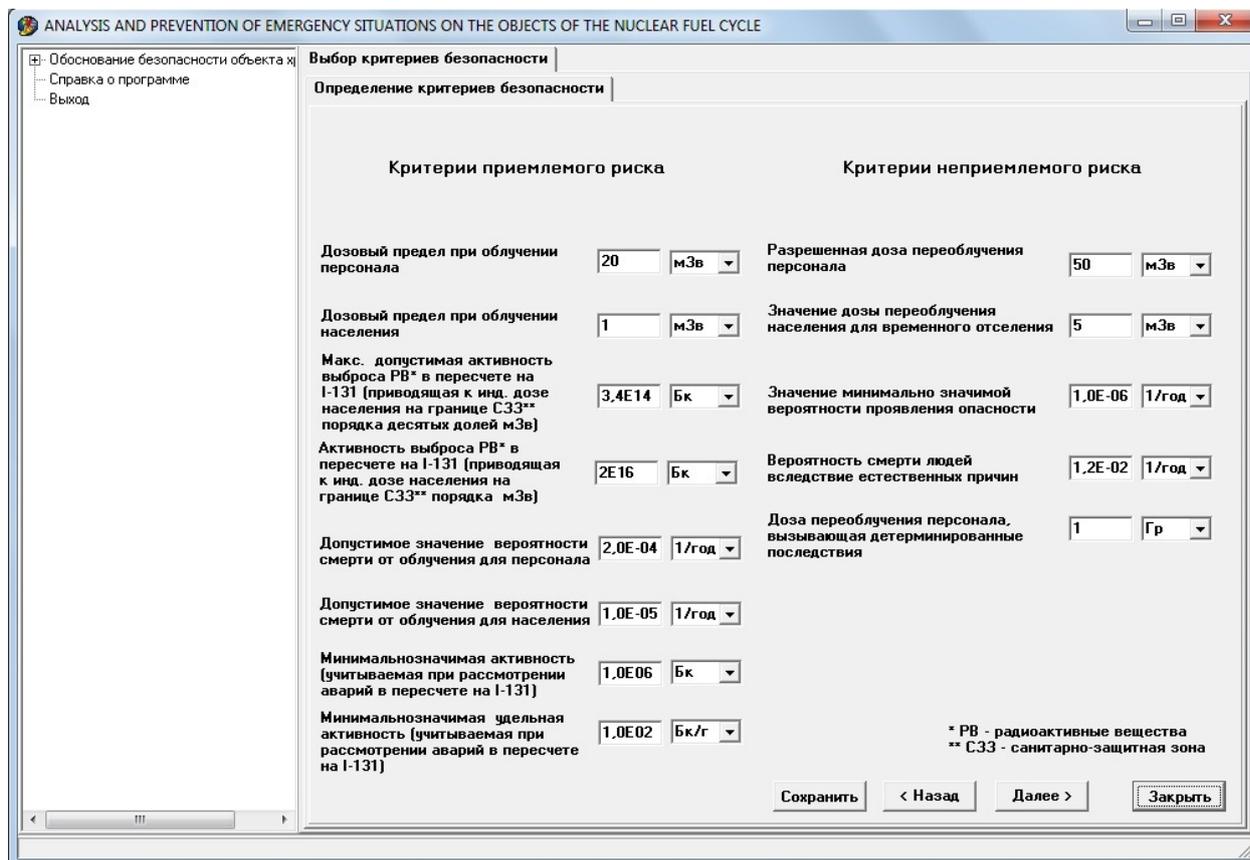


Рис. 6. Форма определения критериев безопасности

Сбор исходной информации об объекте

С помощью данного модуля происходит формирование математической модели рассматриваемого РОО. Модуль состоит из трех форм: «Создание вербальной модели объекта», «Перечень ЭТСС и ЭТСИ» и «Перечень ОС».

Форма «Создание вербальной модели объекта»

Форма реализована в виде последовательно открывающихся пяти вкладок: выбор ЭТСС, выбор нуклидов, выбор ЭТСИ, описание возможных отказов, расчет последствий опасных событий. С помощью вкладок происходит заполнение необходимых для анализа сведений о применяемом оборудовании и его возможных отказах.

Вкладка «Выбор ЭТСС» На вкладке с помощью элементов пользовательского интерфейса (см. рис. 7) задаются:

- 1– агрегатное состояние ОВ;
- 2– наименование ЭТСС (выбирается из таблицы модуля «Базы данных отказов ЭТСС и ЭТСИ»);
- 3– комментарий (для уточнений характеристик ЭТСС);
- 4– максимальная удельная активность;
- 5– единицы измерения для максимальной удельной активности;
- 6– максимальное количество;
- 7– единицы измерения для максимального количества;

- 8– каким документом определено максимальное количество;
- 9– уровень глубокоэшелонированной защиты (для данного ЭТСС).

При одновременном задании 4 и 6 происходит расчет максимальной активности и данная величина передается на вкладку «Выбор нуклидов».

При задании 4 и не задании 6 после заполнения необходимой информации на вкладке «Выбор нуклидов» происходит расчет 6.

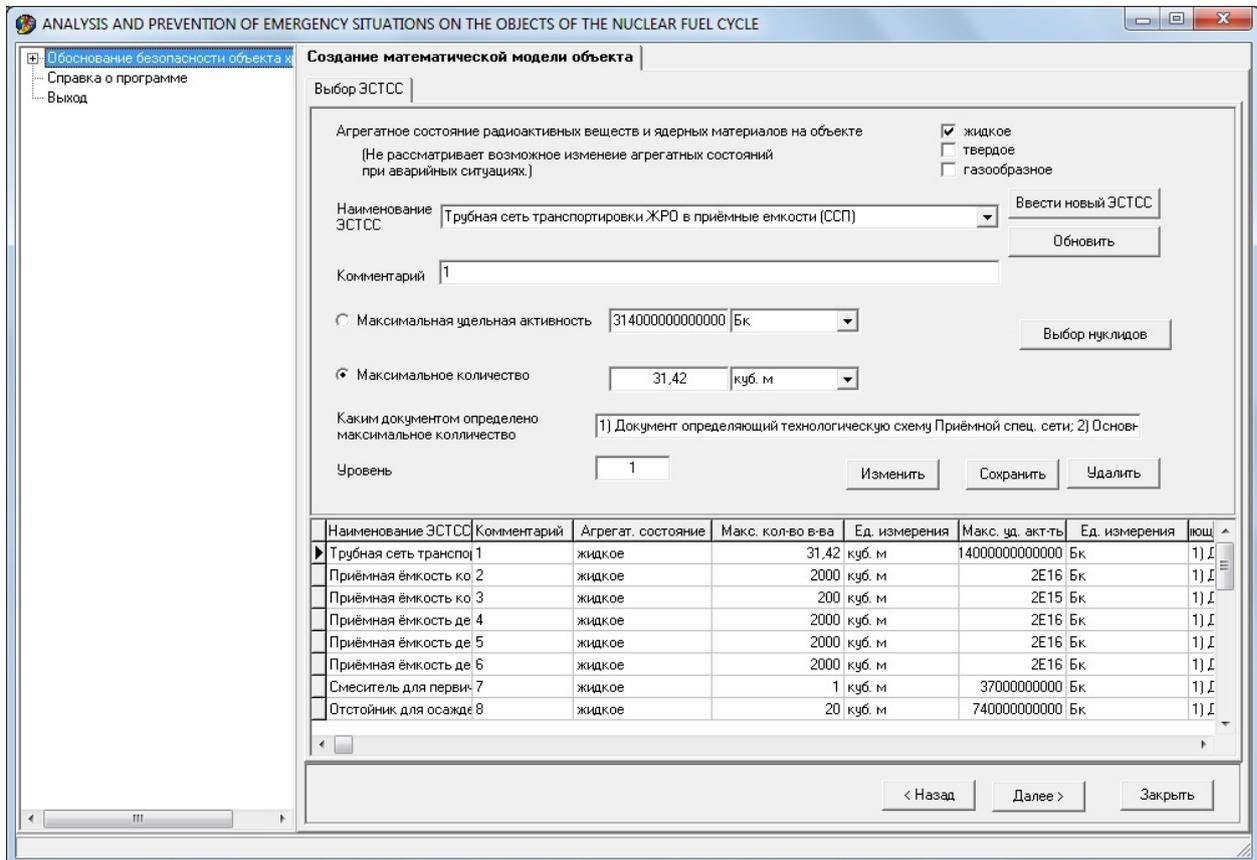


Рис. 7. Вкладка «Выбор ЭТСС»

При задании 6 и не задании 4 после заполнения необходимой информации на вкладке «Выбор нуклидов» происходит расчет 4.

По нажатию на кнопку «Вести новый ЭТСС» – происходит переход в модуль «База данных отказов ЭТСС и ЭТСИ».

По нажатию на кнопку «Обновить» – происходит обновление перечня ЭТСС после добавления их в модуле «База данных отказов ЭТСС и ЭТСИ».

По нажатию на кнопку «Сохранить» – происходит добавление информации об ЭТСС в таблицу tETSS и в рабочую таблицу (размещенную в нижней части данной вкладки).

По нажатию на кнопку «Удалить» – происходит удаление информации о выбранном в рабочей таблице ЭТСС из таблицы tETSS и из рабочей таблицы.

По нажатию на кнопку «Выбор нуклидов» – происходит переход на вкладку «Выбор нуклидов».

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на вкладку «Выбор

ЭТСИ».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход в модуль «Выбор критериев безопасности».

По нажатию на кнопку «Заккрыть» происходит переход на главную форму.

Вкладка «Выбор нуклидов»

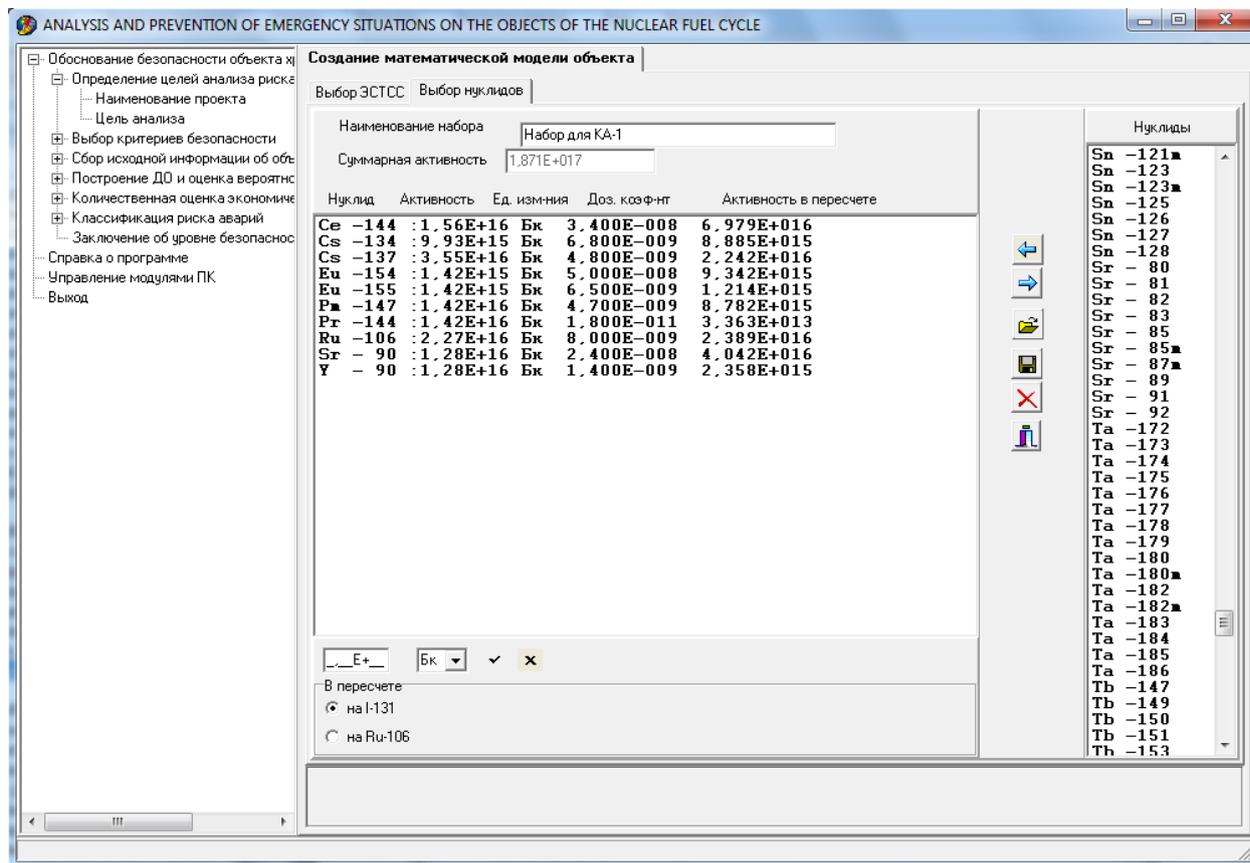


Рис. 8. Вкладка «Выбор нуклидов»

С помощью элементов пользовательского интерфейса (см. рис. 8) задаются:

- 1– наименование набора (радионуклидов);
- 2– активность каждого радионуклида в наборе (при задании на вкладке «Выбор ЭТСС» и 4 и 6 позиции рядом указывается расчетная суммарная активность).

Вкладка разделена на 3 области. Крайняя правая область содержит перечень радионуклидов. Все характеристики радионуклидов содержатся в файле NuclidsCont.txt. С помощью поэлементного чтения данного файла и последующей записи информации в соответствующий компонент ListVox происходит формирование, указанного перечня радионуклидов. Средняя область содержит набор кнопок управляющей панели. Крайняя левая – представляет собой рабочую область, в которой формируется набор радионуклидов, характеризующий конкретное оборудование или опасное событие.

При выделении какого-либо радионуклида на крайней левой панели и по-

следующем нажатии на кнопку  происходит добавление данного радионуклида в набор при одновременном исключении его из перечня радионуклидов (соответственно при нажатии на кнопку  происходит удаление данного радионуклида из набора при одновременном включении его в перечень радионуклидов). При включении радионуклида в набор происходит добавление на основную часть вкладки следующей информации:

- наименование радионуклида;
- активность в наборе;
- дозовый коэффициент радионуклида при поступлении его в организм человека с воздухом, в соответствии с приложением 2 к НРБ-99/2009 [125];
- эквивалентная активность при выбросе ^{131}I или ^{106}Ru (в зависимости от выбора нуклида для пересчета на панели «В пересчете», см. рис.8).

После выделения в наборе какого-либо радионуклида с помощью элемента  вкладки задается его активность в наборе. Причем имеется возможность задания удельной либо объемной активности.

Активность в пересчете на ^{131}I или ^{106}Ru рассчитывается автоматически по следующей формуле:

$$A_{I^{131}, Ru^{106}} = A_r \cdot \frac{\varepsilon_{\text{нас}(r)}^{\text{возд}}}{\varepsilon_{\text{нас}(I^{131}, Ru^{106})}^{\text{возд}}}$$

где A_r – активность радионуклида в наборе; $\varepsilon_{\text{нас}(r)}^{\text{возд}}$ – дозовый коэффициент при поступлении радионуклида в организм человека через вдыхаемый воздух (в соответствии с [125]); $\varepsilon_{\text{нас}(I^{131}, Ru^{106})}^{\text{возд}}$ – дозовый коэффициент при поступлении ^{131}I или ^{106}Ru в организм человека через вдыхаемый воздух (в соответствии с [125]).

Суммарная активность рассчитывается автоматически путем суммирования эквивалентной по ^{131}I (или ^{106}Ru) активности всех входящих в набор радионуклидов.

Кнопка  – открывает ранее сохраненный набор радионуклидов.

Кнопка  – сохраняет сформированный набор радионуклидов в таблицу tSetNucl.

Кнопка  – удаляет весь сформированный набор радионуклидов.

Кнопка  – осуществляет закрытие вкладки «выбор нуклидов».

Вкладка «Выбор ЭТСИ»

С помощью элементов пользовательского интерфейса (см. рис. 9) задаются:

- 1– наименование ЭТСС (с которым связан ЭТСИ);
- 2– наименование ЭТСИ (выбирается из таблицы модуля «Базы данных отказов ЭТСС и ЭТСИ»);
- 3– комментарий (для уточнений характеристик ЭТСИ);
- 4– выполняемая функция (в технологическом процессе).

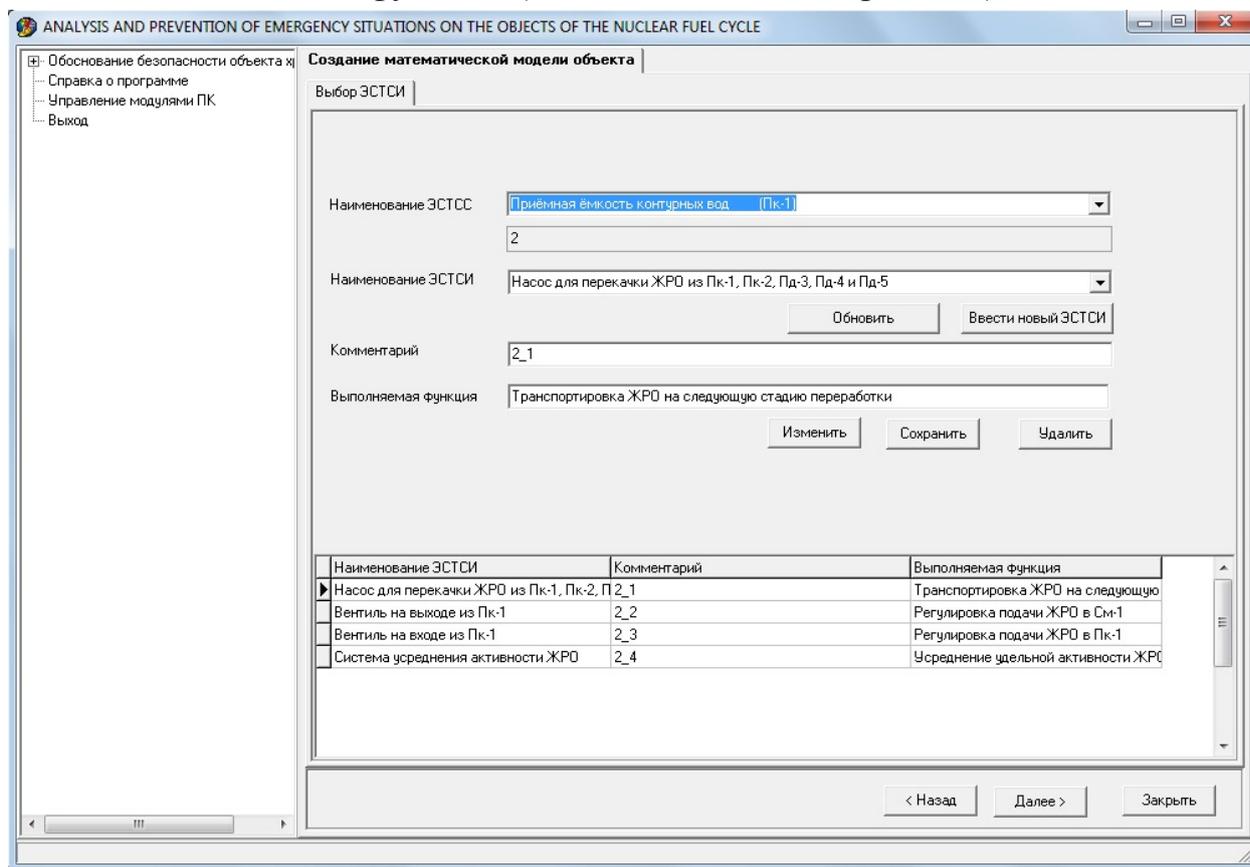


Рис. 9. Вкладка «Выбор ЭТСИ»

По нажатию на кнопку «Ввести новый ЭТСИ» – происходит переход в модуль «База данных отказов ЭТСС и ЭТСИ».

По нажатию на кнопку «Обновить» – происходит обновление перечня ЭТСИ после добавления их в модуль «База данных отказов ЭТСС и ЭТСИ».

По нажатию на кнопку «Сохранить» – происходит добавление информации об ЭТСС в таблицу tETSI и в рабочую таблицу (размещенную в нижней части данной вкладки).

По нажатию на кнопку «Удалить» – происходит удаление информации о выбранном в рабочей таблице ЭТСИ из таблицы tETSS и из рабочей таблицы.

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на вкладку «Описание возможных отказов».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на вкладку «Выбор

ЭТСС».

По нажатию на кнопку «Заккрыть» происходит переход на главную форму.

Вкладка «Описание возможных отказов»

С помощью элементов пользовательского интерфейса (см. рис. 10) задаются:

- 1– наименование ЭТСС;
- 2– наименование ЭТСИ (если рассматривается отказ ЭТСИ);
- 3– тип опасного события (в соответствии с [71]);
- 4– опасное событие;
- 5– краткое описание события;
- 6– вероятность события (при выборе в качестве типа исходного события «отказы систем и элементов ОПО» происходит автоматическое заполнение данного параметра из таблицы модуля «Базы данных отказов ЭТСС и ЭТСИ»);
- 7– интенсивность (отказов при выполнении технологической операций);
- 8– количество операций в год (количество однотипных технологических операций, проводимых на рассматриваемом ОПО, в год);
- 9– документ определяющий значение вероятности (интенсивности).

Следует отметить, что на вкладке не могут быть одновременно заданы 6, 7 и 8, т.е. либо задается «вероятность события» либо «интенсивность» и «количество операций в год». Также имеется возможность отключения одного из критериев остановки процесса построения схем миграции ОВ, а именно вероятность итогового события $< 10^{-7}$ 1/год, при постановке знака перед «Не учитывать вероятность».

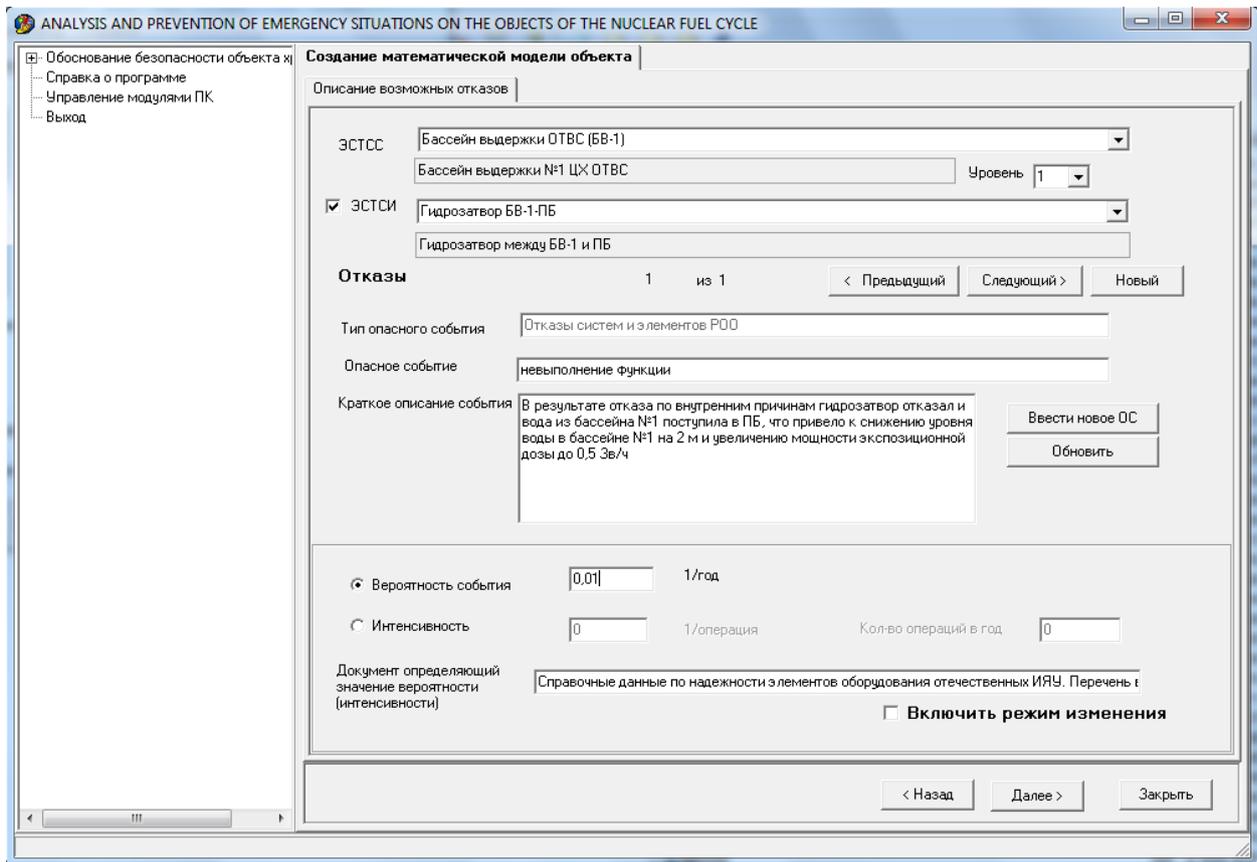


Рис. 10. Вкладка «Описание возможных отказов»

При отсутствии документа определяющего значение вероятности рассматриваемого опасного события в 9 нужно указывать «Экспертная оценка».

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на вкладку «Расчет последствий опасных событий».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на вкладку «Выбор ЭТСИ».

По нажатию на кнопку «Закреть» происходит переход на главную форму.

Вкладка «Расчет последствий опасных событий»

С помощью элементов пользовательского интерфейса (см. рис. 11) задаются:

- 1— количество вышедших ОВ за пределы ЭТСС (с указанием единиц измерения);
- 2— активность вышедших ОВ за пределы ЭТСС (с указанием единиц измерения);
- 3— агрегатное состояние вышедших ОВ за пределы ЭТСС;
- 4— наименование ЭТСС следующего уровня (выбирается из таблицы модуля «Базы данных отказов ЭТСС и ЭТСИ»);
- 5— комментарий (для уточнений характеристик ЭТСС);

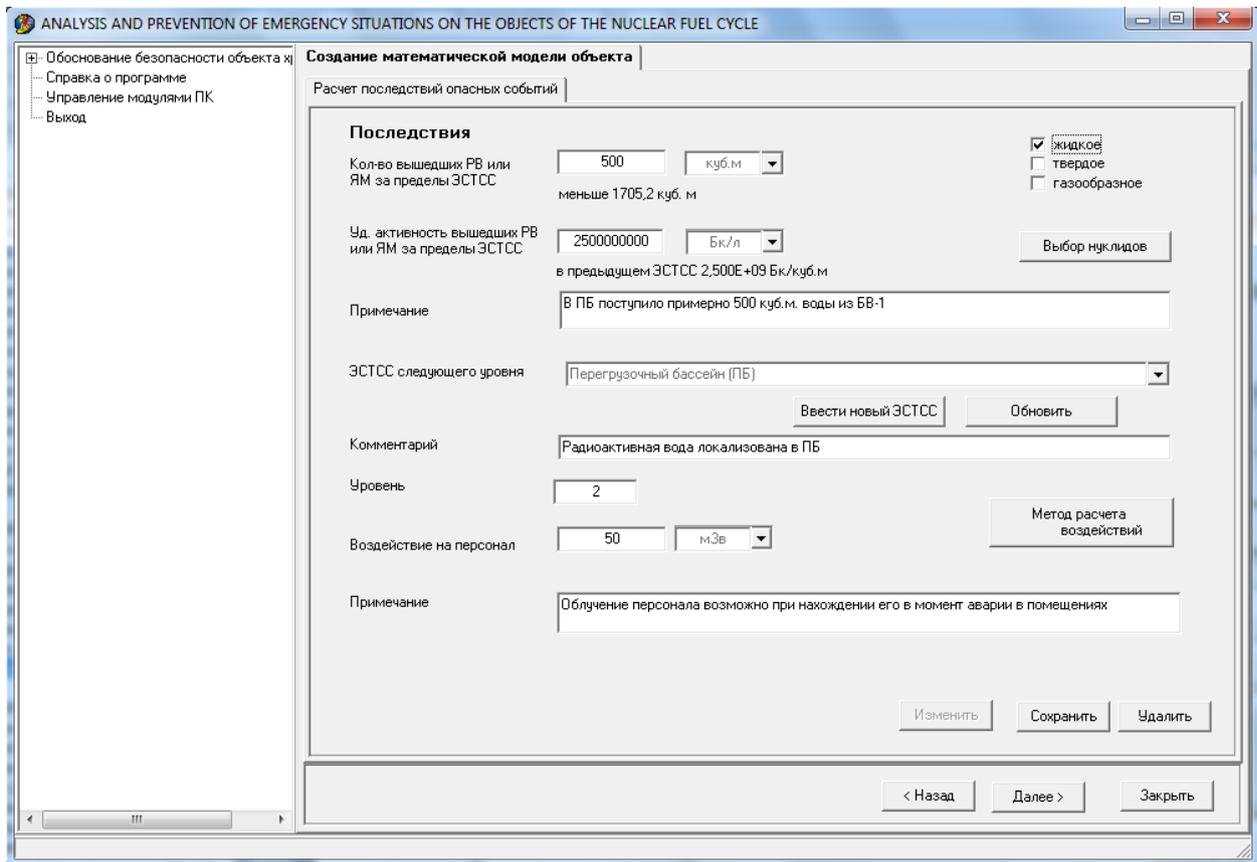


Рис. 11. Вкладка «Расчет последствий опасных событий»

6– уровень (глубокоэшелонированной защиты для данного ЭТСС).

7– воздействие на персонал (непосредственное воздействие излучения на персонал при выходе ОВ за пределы ЭТСС);

8– примечание.

При одновременном задании 1 и 2 происходит расчет максимальной активности и данная величина передается на вкладку «Выбор нуклидов».

При задании 1 и не задании 2 после заполнения необходимой информации на вкладке «Выбор нуклидов» происходит расчет 2.

При задании 2 и не задании 1 после заполнения необходимой информации на вкладке «Выбор нуклидов» происходит расчет 1.

По нажатию на кнопку «Ввести новый ЭТСС» – происходит переход в модуль «База данных отказов ЭТСС и ЭТСИ».

По нажатию на кнопку «Обновить» – происходит обновление перечня ЭТСС после добавления их в модуле «База данных отказов ЭТСС и ЭТСИ».

По нажатию на кнопку «Метод расчета воздействий» открывается диалоговое окно рис. 12.

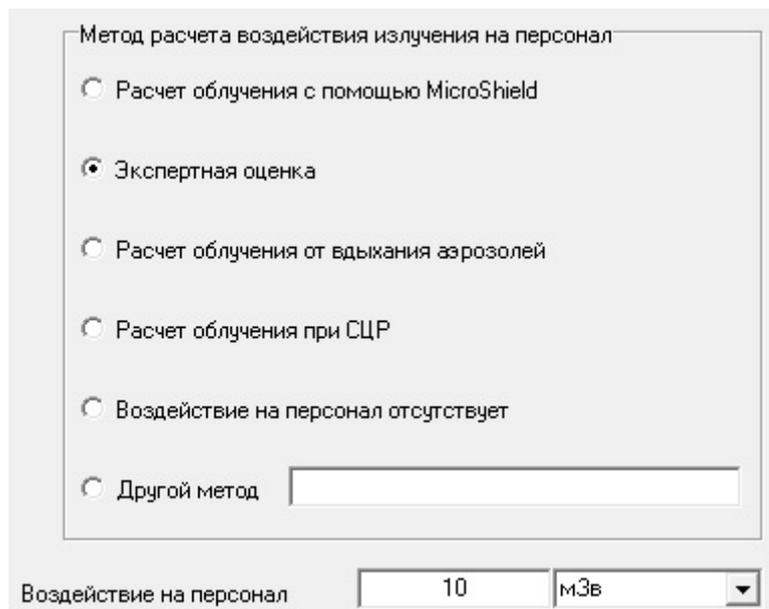


Рис. 12. Окно выбора метода расчета воздействия излучения на персонал.

Производится выбор метода, с помощью которого был проведен расчет воздействия излучения на персонал либо задается свой метод. В нижней части окна задается значение эффективной дозы облучения полученной персоналом при выходе ОВ за пределы ЭТСС.

По нажатию на кнопку «Сохранить» – происходит добавление информации о событии в таблицу tEffectsIS и в рабочую таблицу (размещенную в нижней части данной вкладки).

По нажатию на кнопку «Удалить» – происходит удаление информации о выбранном в рабочей таблице событии из таблицы tEffectsIS и из рабочей таблицы.

По нажатию на кнопку «Выбор нуклидов» – происходит переход на вкладку «Выбор нуклидов».

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход:

– при рассмотрении всех ЭТСС и ЭТСИ на возможность отказа – на форму «Перечень ЭТСС и ЭТСИ»;

– при не рассмотрении какого-либо ЭТСС или ЭТСИ на возможность отказа – на вкладку «Выбор ЭТСС» для рассмотрения отказов нерассмотренных ЭТСС или ЭТСИ.

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на вкладку «Описание возможных отказов».

По нажатию на кнопку «заккрыть» происходит переход на главную форму.

Форма «Перечень ЭТСС и ЭТСИ»

Рабочее окно формы (см. рис. 13) представляет собой таблицу с перечнем ЭТСС и ЭТСИ. Имеется возможность передачи данного перечня в Excel для последующего вывода на печать.

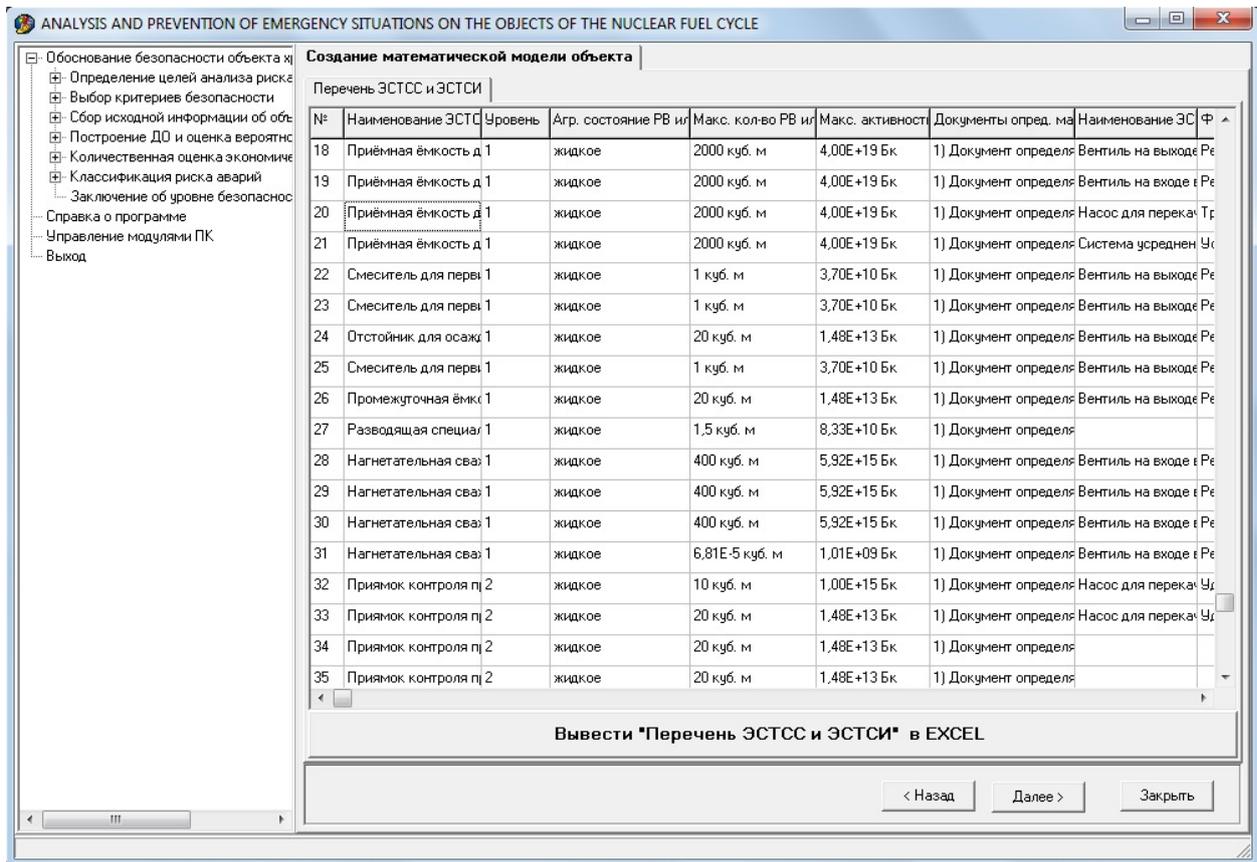


Рис. 13. Форма «Перечень ЭТСС и ЭТСИ»

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на форму «Перечень ОС».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на форму «Создание вербальной модели объекта».

По нажатию на кнопку «Закреть» происходит переход на главную форму.

Форма «Перечень ОС»

Рабочее окно формы (см. рис. 14) представляет собой таблицу с перечнем опасных событий, реализация которых возможна на рассматриваемом объекте. Имеется возможность передачи данного перечня в Excel для последующего вывода на печать.

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход в модуль «Оценка вероятности ОС и построение ДО».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на вкладку «Перечень ЭТСС и ЭТСИ».

По нажатию на кнопку «Закреть» происходит переход на главную форму.

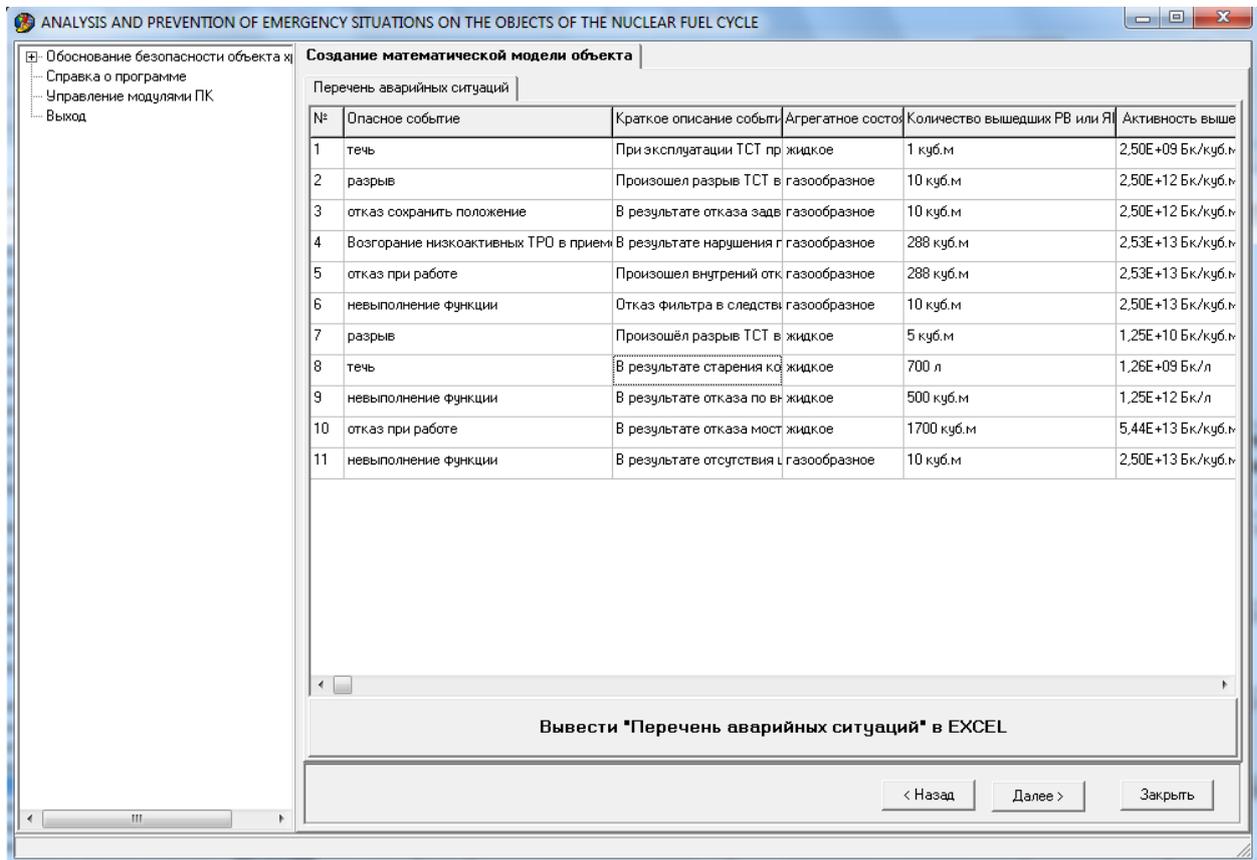


Рис. 14. Форма «Перечень ОС»

Построение ДО и оценка вероятности аварий

С помощью данного модуля происходит формирование графической модели рассматриваемого РОО в виде дерева. Модуль состоит из 3 форм: «Построение ДО исходного проекта», «Дополнение исходной модели объекта СБ», «Построение ДО объекта с СБ»).

Форма «Построение ДО исходного проекта»

Рабочая область формы (см. рис. 15) заполняется автоматически сформированным ДО исходного проекта рассматриваемого объекта. Для получения полных сведений о том или ином отказе необходимо привести курсор мыши на интересующий элемент дерева и нажать на левую кнопку мыши. После чего в левой нижней части рабочей области формы появляется информация об узле дерева (см. рис. 15) с подробным описанием события с выходом ОВ за барьер безопасности.

В общем случае схема построения дерева отказов выглядит следующим образом:

1) Из таблицы tEffectsIs производится выбор из столбца «sNameETSS_Next» всех конечных ЭТСС, в который вышли ОВ, т.е. последний из рассматриваемых барьеров безопасности, характеризующих конечное состояние системы после ряда отказов. Указанные итоговые события отображаются на форме построения дерева отказов в виде отдельных графических эле-

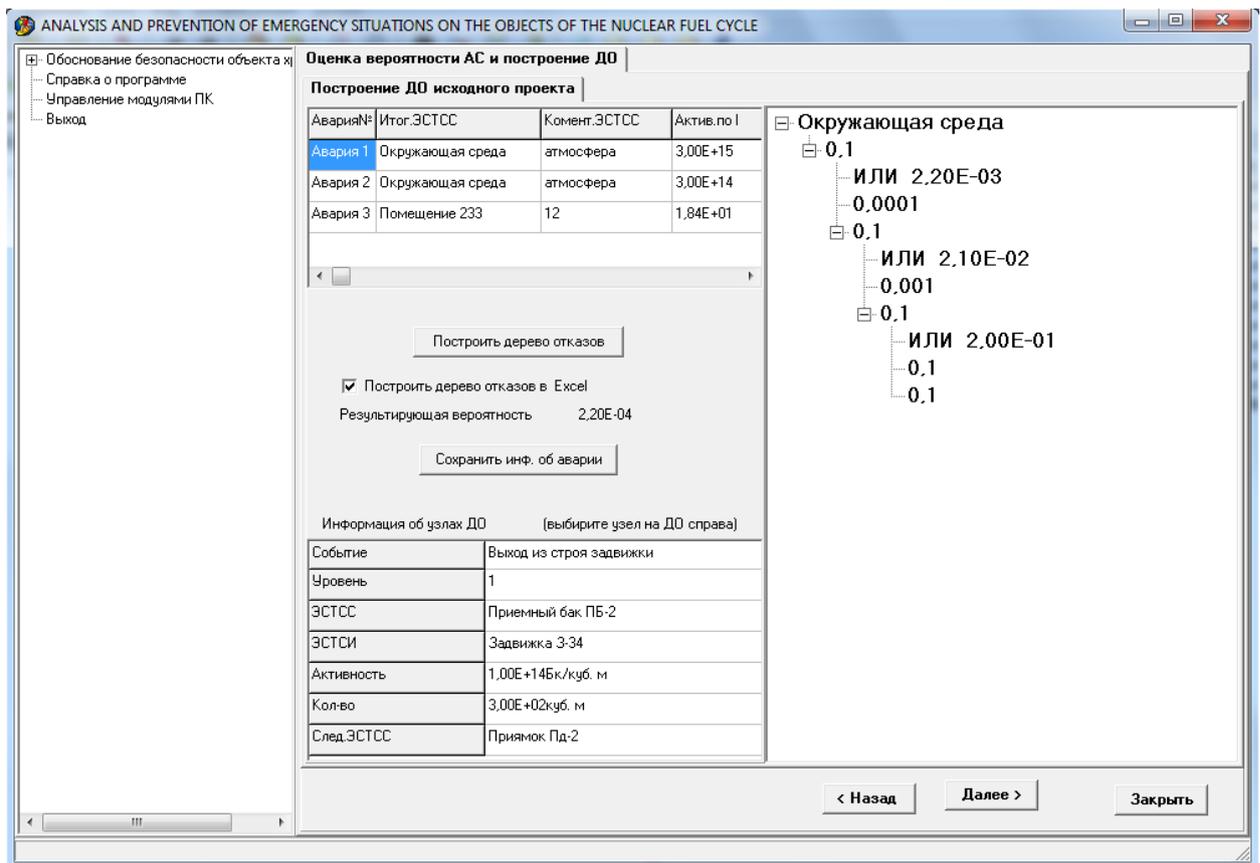


Рис. 15. Форма «Построение ДО исходного проекта»

2) Далее определяются отказы, приводящие к тому или иному итоговому событию, т.е. для выбранных по столбцу «sNameETSS_Next» ЭТСС определяются предыдущие ЭТСС или ЭТСИ по столбцам «nETSS_ETSI» (где происходит определение типа ЭТСС или ЭТСИ) и «nIdETSS_ETSI» (определяется идентификатор ЭТСС или ЭТСИ). Указанные отказы отображаются на форме построения дерева отказов в виде отдельных графических элементов связанных с соответствующими итоговыми событиями.

3) После чего проводится сравнение выбранных из таблицы tETSS по столбцу «sNameEl» ЭТСС с наименованиями ЭТСС таблицы tEffectsIs столбец «sNameETSS_Next» (в том числе проводится сравнение характеристик вышедших ОВ).

4) Далее проводится выбор совпавших ЭТСС и для них повторяется пункт 2. После чего опять выполняется п. 3 и т.д. Критерием остановки цикла является выбор всех имеющихся в перечне ЭТСС таблица tETSS столбец «nIdETSS».

При постановке знака перед «Построить дерево отказов в Excel» происходит построение ДО исходного проекта в Excel для последующего вывода на печать.

По нажатию на кнопку «Построить дерево отказов» происходит построе-

ние ДО для выбранной в перечне аварии.

По нажатию на кнопку «Сохранить инф. об аварии» происходит сохранение информации о проанализированной аварии.

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на форму «Дополнение исходной модели объекта СБ».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход в модуль «Сбор исходной информации об объекте».

По нажатию на кнопку «Заккрыть» происходит переход на главную форму.

Форма «Дополнение исходной модели объекта СБ»

Данная форма состоит из следующих вкладок: «Описание СБ», «Тип СБ».

Вкладка «Описание СБ»

С помощью элементов пользовательского интерфейса (см. рис. 16) задаются:

1– наименование ЭТСС или ЭТСИ (контроль параметров которого проводит СБ);

2– наименование СБ (выбирается из таблицы модуля «Базы данных отказов ЭТСС и ЭТСИ»);

3– комментарий к СБ (для уточнения используемого оборудования);

4– контролируемый параметр (с указанием диапазона измерений и единиц измерения);

5– тип контроля (автоматический, в ручную);

6– периодичность контроля (1 раз/год, 1 раз/мин и т.п.);

7– источник информации о системе безопасности;

8– наличие и описание дублирования информации с устройства (пример, дополнительный вывод информации с устройства на щит оператора).

По нажатию на кнопку «Ввести новый СБ» – происходит переход в модуль «База данных отказов ЭТСС и ЭТСИ».

По нажатию на кнопку «Обновить» – происходит обновление перечня СБ после добавления их в модуле «База данных отказов ЭТСС и ЭТСИ».

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на вкладку «Тип СБ».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на форму «Построение ДО исходного проекта».

По нажатию на кнопку «Заккрыть» происходит переход на главную форму.

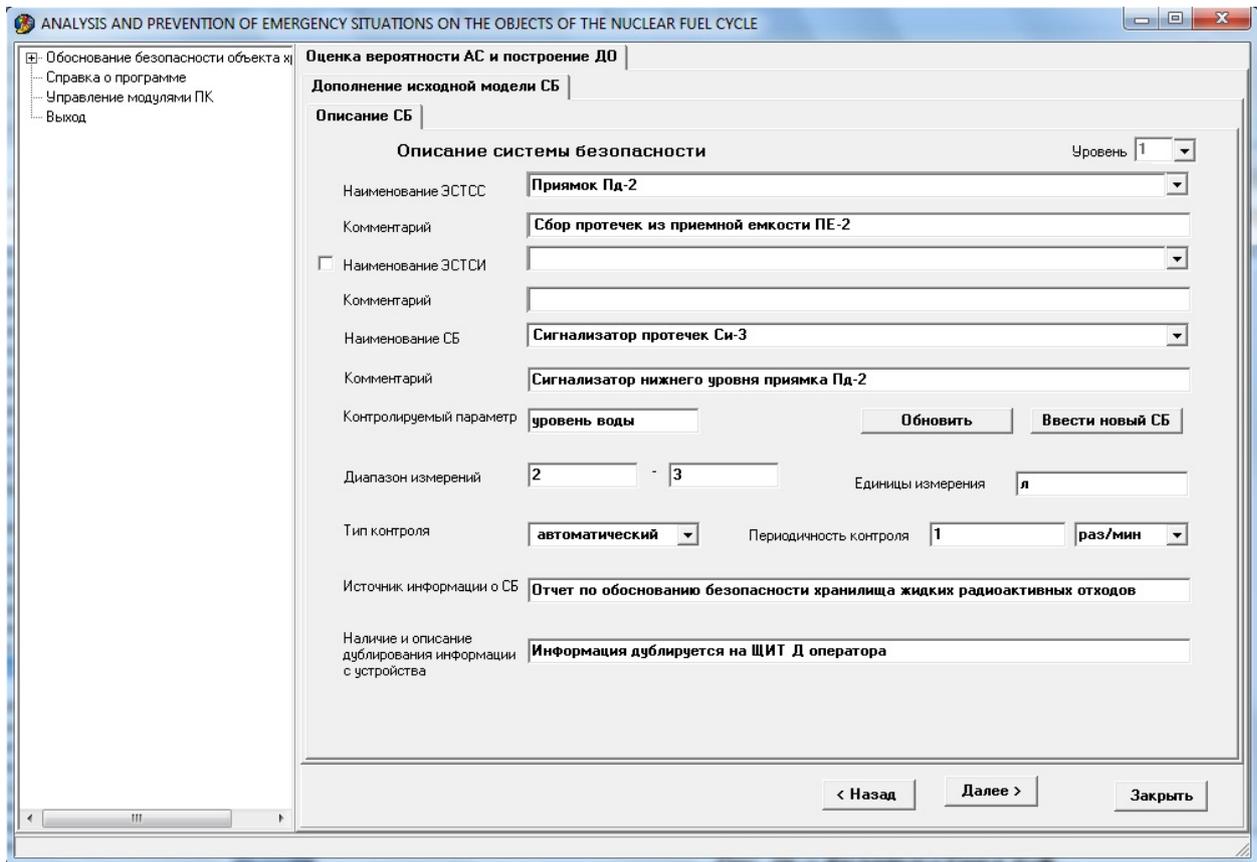


Рис. 16. Вкладка «Описание СБ»

Вкладка «Тип СБ»

На вкладке с помощью элементов пользовательского интерфейса (см. рис. 17) задаются:

- 1– тип элемента СБ (в соответствии с пунктом 2.3);
- 2– в зависимости от выбранного типа элемента СБ далее заполняются следующие характеристики:

- неконтролируемые и невозстанавливаемые элементы: интенсивность отказа элемента СБ с указанием единиц измерения; постоянная составляющая вероятности отказа на требование; продолжительность работы элемента с указанием единиц измерения.
- периодически контролируемые восстанавливаемые элементы: интенсивность отказа элемента СБ с указанием единиц измерения; постоянная составляющая вероятности отказа на требование; продолжительность работы элемента с указанием единиц измерения; время до первой проверки элемента СБ с указанием единиц измерения; время контроля элемента СБ с указанием единиц измерения; интервал между проверками элемента СБ с указанием единиц измерения; время восстановления элемента СБ с указанием единиц измерения; вероятность отказа элемента СБ в период контроля из-за ошибки персонала с указанием единиц измерения; вероятность отказа элемента СБ в период

восстановления из-за ошибки персонала с указанием единиц измерения; переводится ли элемент во время проверки в состояние, не позволяющее использовать его по прямому назначению (указывается знак «+»).

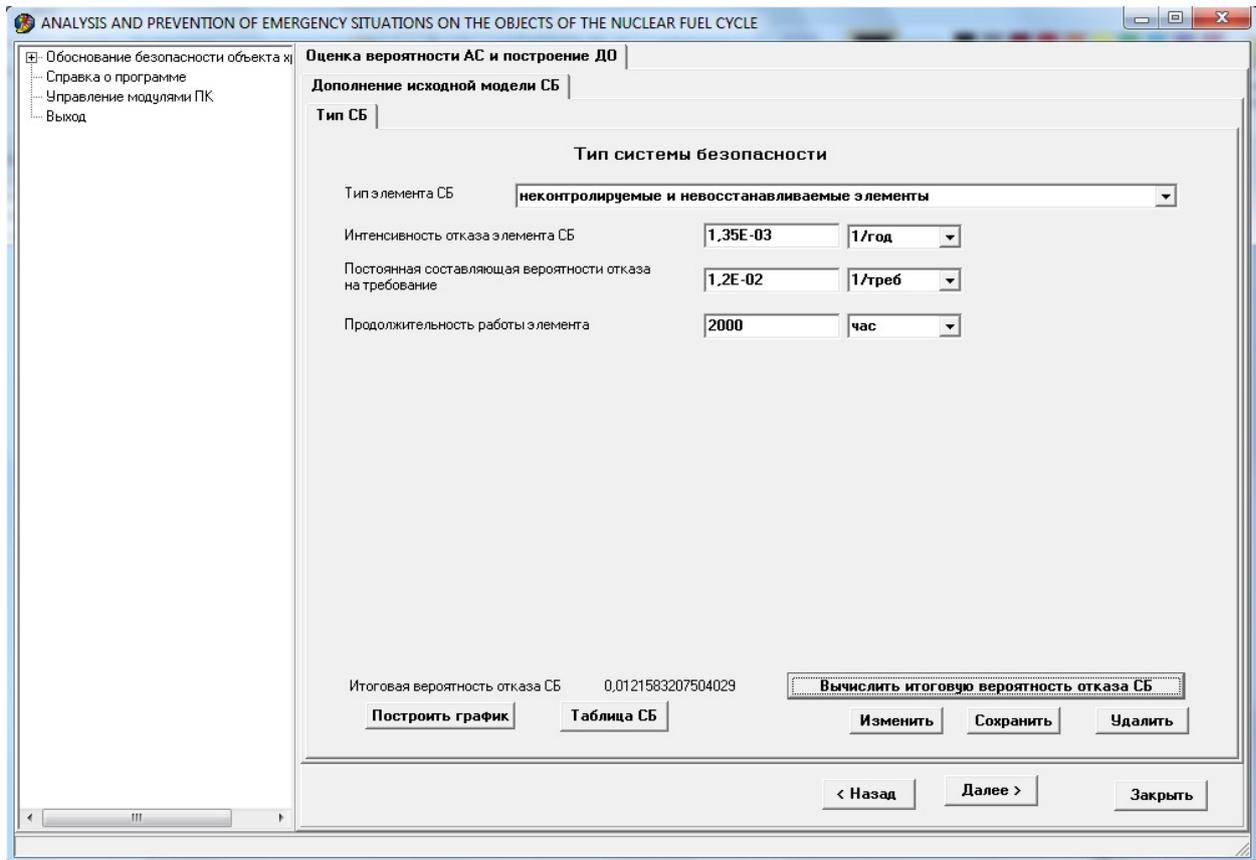


Рис. 17. Вкладка «Тип СБ»

- периодически контролируемые невосстанавливаемые элементы: интенсивность отказа элемента СБ с указанием единиц измерения; постоянная составляющая вероятности отказа на требование; продолжительность работы элемента с указанием единиц измерения; время до первой проверки элемента СБ с указанием единиц измерения; время контроля элемента СБ с указанием единиц измерения; интервал между проверками элемента СБ с указанием единиц измерения; вероятность отказа элемента СБ в период контроля из-за ошибки персонала с указанием единиц измерения; вероятность отказа элемента СБ в период восстановления из-за ошибки персонала с указанием единиц измерения; переводится ли элемент во время проверки в состояние, не позволяющее использовать его по прямому назначению (указывается знак «+»).
- непрерывно контролируемые восстанавливаемые элементы: интенсивность отказа элемента СБ с указанием единиц измерения; постоянная составляющая вероятности отказа на требование; продолжитель-

ность работы элемента с указанием единиц измерения; вероятность неработоспособного состояния системы контроля к моменту скрытого отказа элемента с указанием единиц измерения; допустимое время восстановления с указанием единиц измерения; время восстановления элемента СБ с указанием единиц измерения.

– непрерывно контролируемые не восстанавливаемые элементы: интенсивность отказа элемента СБ с указанием единиц измерения; постоянная составляющая вероятности отказа на требование; продолжительность работы элемента с указанием единиц измерения; вероятность неработоспособного состояния системы контроля к моменту скрытого отказа элемента с указанием единиц измерения; время отказа элемента СБ с указанием единиц измерения.

– находящиеся в работе, восстанавливаемые элементы: интенсивность отказа элемента СБ с указанием единиц измерения; время восстановления элемента СБ с указанием единиц измерения.

– находящиеся в работе, не восстанавливаемые элементы: интенсивность отказа элемента СБ с указанием единиц измерения; продолжительность работы элемента с указанием единиц измерения.

По нажатию на кнопку «Сохранить» – происходит добавление информации об СБ в таблицу tSB и в рабочую таблицу (размещенную в нижней части данной вкладки).

По нажатию на кнопку «Удалить» – происходит удаление информации о выбранной в рабочей таблице СБ из таблицы tSB и из рабочей таблицы.

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на вкладку «Корректировка параметров отказов с учетом СБ».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на вкладку «Описание СБ».

По нажатию на кнопку «Заккрыть» происходит переход на главную форму. Форма «Построение ДО объекта с СБ».

Данная форма и работа с ней идентична форме «Построение ДО исходного проекта» (см. рис. 18).

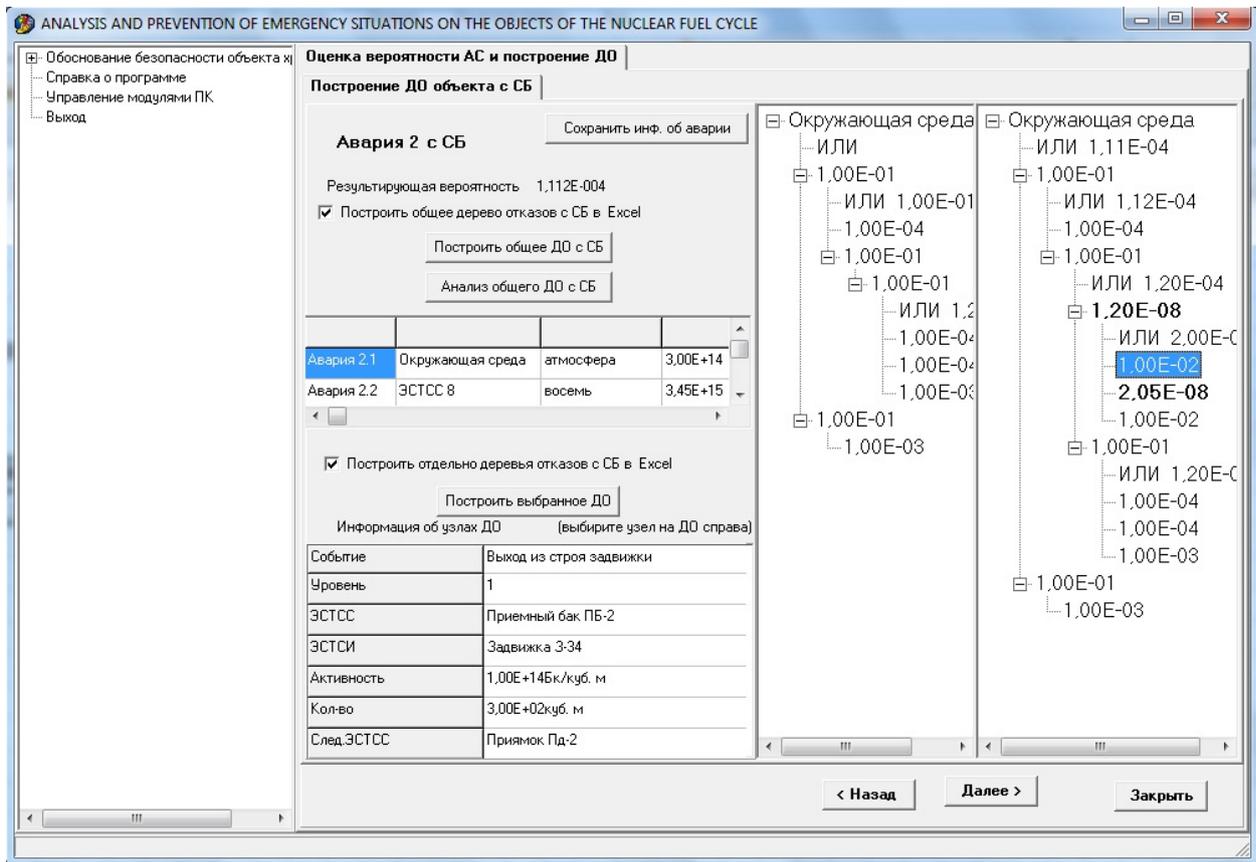


Рис. 18. Вкладка «Построение ДО объекта с СБ»

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход в модуль «Количественная оценка экономического ущерба аварий».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на форму «Дополнение исходной модели объекта СБ».

По нажатию на кнопку «Закреть» происходит переход на главную форму.

Количественная оценка ущерба аварий

Модуль «Количественная оценка ущерба аварий» состоит из трёх форм: «Экономическая оценка вреда для здоровья людей», «Затраты на работы по ликвидации последствий аварий» и «Итоговые данные об ущербе».

Форма «Экономическая оценка вреда для здоровья людей»

При переходе на форму создается таблица «Перечень итоговых событий с выходом ОВ в окружающую среду». После чего на форме отображаются следующие данные по каждому из событий:

- 1– наименование аварии, при которой произошел выход ОВ в окружающую среду;
- 2– количество выброшенных в окружающую среду ОВ;
- 3– активность выброшенных в окружающую среду ОВ;
- 4– доза облучения персонала.

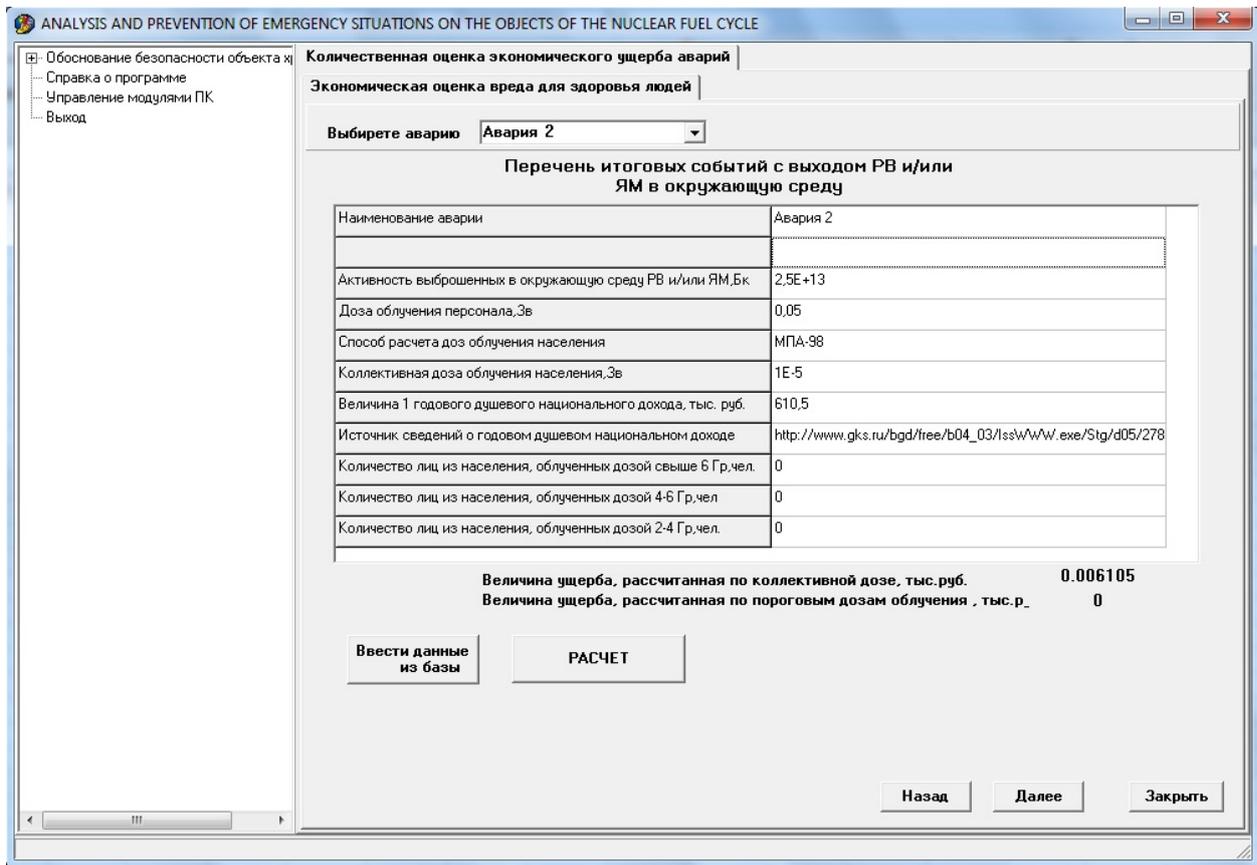


Рис. 19. Форма «Экономическая оценка вреда для здоровья людей»

Далее с помощью элементов пользовательского интерфейса (см. рис. 19) таблица дополняется следующими сведениями:

- 1– способ расчета доз облучения населения;
- 2– коллективная доза облучения населения;
- 3– величина 1 годового душевого национального дохода;
- 4– источник сведений о годовом душевом национальном доходе;
- 5– количество лиц из населения, облученных дозой свыше 6 Гр;
- 6– количество лиц из населения, облученных дозой 4-6 Гр;
- 7– количество лиц из населения, облученных дозой 2-4 Гр;

После нажатия на кнопку «Расчет» производится расчет экономической оценки вреда для здоровья населения и персонала по двум методам, описанным в пункте 2.4.

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на форму «Затраты на работы по ликвидации последствий аварий».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход в модуль «Оценка вероятности ОС и построение ДО».

По нажатию на кнопку «Закреть» происходит переход на главную форму.

Форма «Затраты на работы по ликвидации последствий аварий»

Данная форма состоит из следующих вкладок: «Расчет затрат на обследование помещений и территорий загрязненных радионуклидами», «Расчет затрат

Также в ячейке «ИТОГО, руб.» производится автоматическое суммирование затрат на проведение работ, по обследованию помещений и территорий, загрязненных радионуклидами.

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на вкладку «Расчет затрат на дезактивацию помещений и территорий».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на форму «Экономическая оценка вреда для здоровья людей».

По нажатию на кнопку «Заккрыть» происходит переход на главную форму.

Вкладка «Расчет затрат на дезактивацию помещений и территорий»

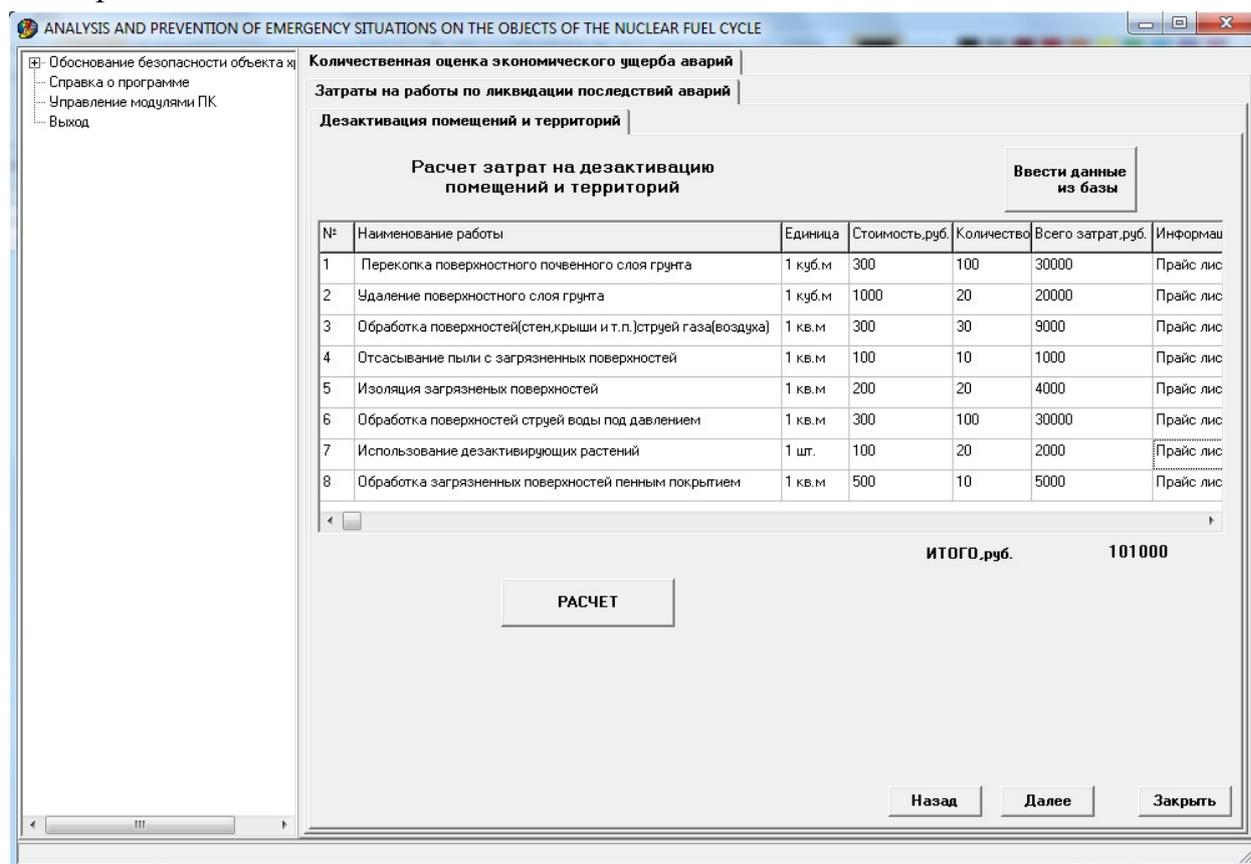


Рис. 21. Расчет затрат на дезактивацию помещений и территорий

Интерфейс пользователя и работа на вкладке построена аналогично вкладке «Расчет затрат на обследование помещений и территорий загрязненных радионуклидами» (см. рис. 21) только задаются сведения, характеризующие перечень работ по дезактивации помещений и территорий, загрязненных радионуклидами.

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на вкладку «Расчет затрат на транспортирование и захоронение РАО».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на вкладку «Расчет затрат на обследование помещений и территорий загрязненных радионуклидами».

По нажатию на кнопку «Заккрыть» происходит переход на главную форму.

Вкладка «Расчет затрат на транспортирование и захоронение РАО»

Интерфейс пользователя и работа на вкладке построена аналогично вкладке «Расчет затрат на обследование помещений и территорий загрязненных радионуклидами» (см. рис. 22) только задаются сведения, характеризующие перечень работ по транспортированию и захоронению РАО.

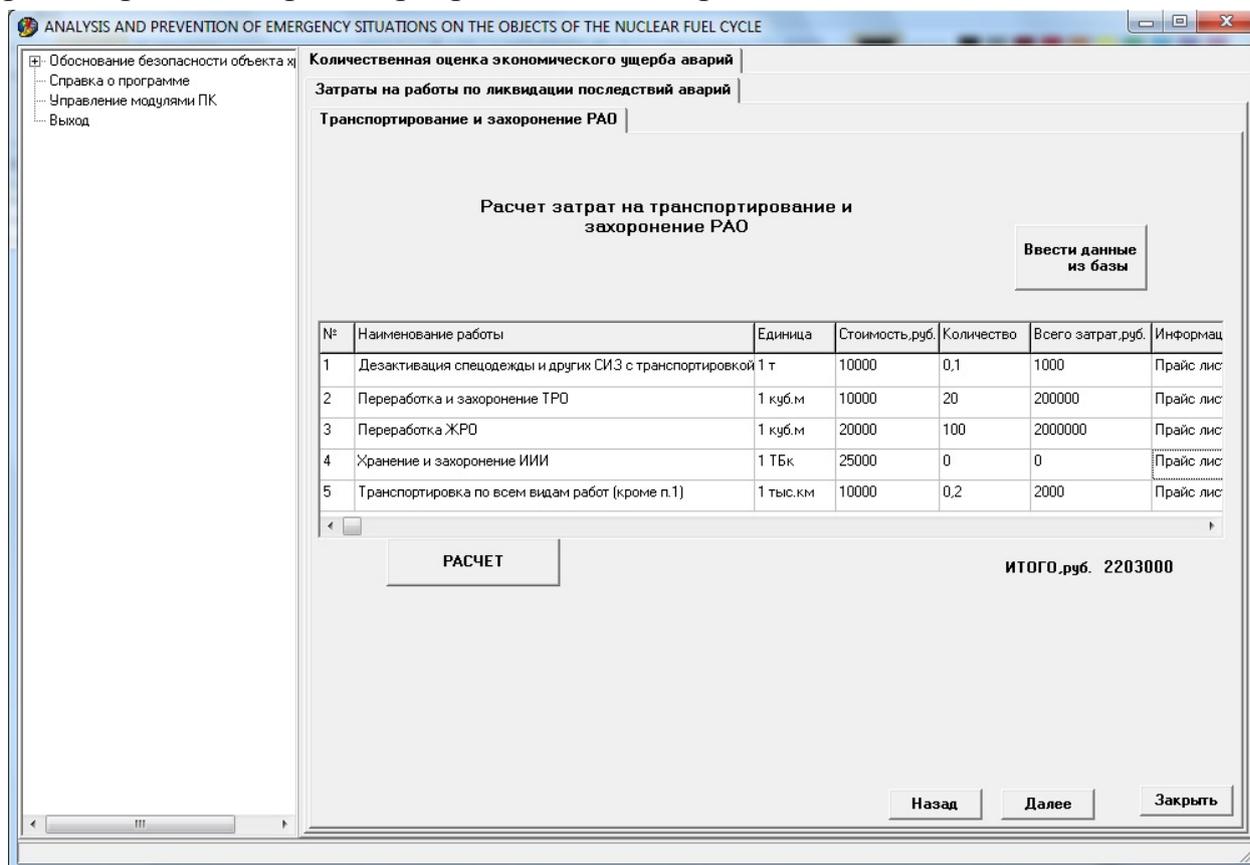


Рис. 22. Расчет затрат на транспортирование и захоронение РАО

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на вкладку «Расчет экономических потерь вследствие вывода земель из сельскохозяйственного производства».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на вкладку «Расчет затрат на дезактивацию помещений и территорий».

По нажатию на кнопку «Заккрыть» происходит переход на главную форму.

Вкладка «Расчет экономических потерь вследствие вывода земель из сельскохозяйственного производства»

На вкладке в виде таблицы задаются следующие сведения (см. рис. 23):

- 1– норматив стоимости земли за 1 га;
- 2– площадь участка, выведенного из сельхозоборота вследствие радиоактивного загрязнения;
- 3– период времени неиспользования участка земли под сельскохозяйст-

венного производство;

4– нормативный срок окупаемости участка земли, используемого для сельскохозяйственного производства без коренного улучшения его качества, принят равным 20 годам (может быть от 10 до 50 лет в зависимости от направления использования участка земли);

5– информационные источники по стоимости земли и способу оценки выведенного из сельхозоборота участка земли.

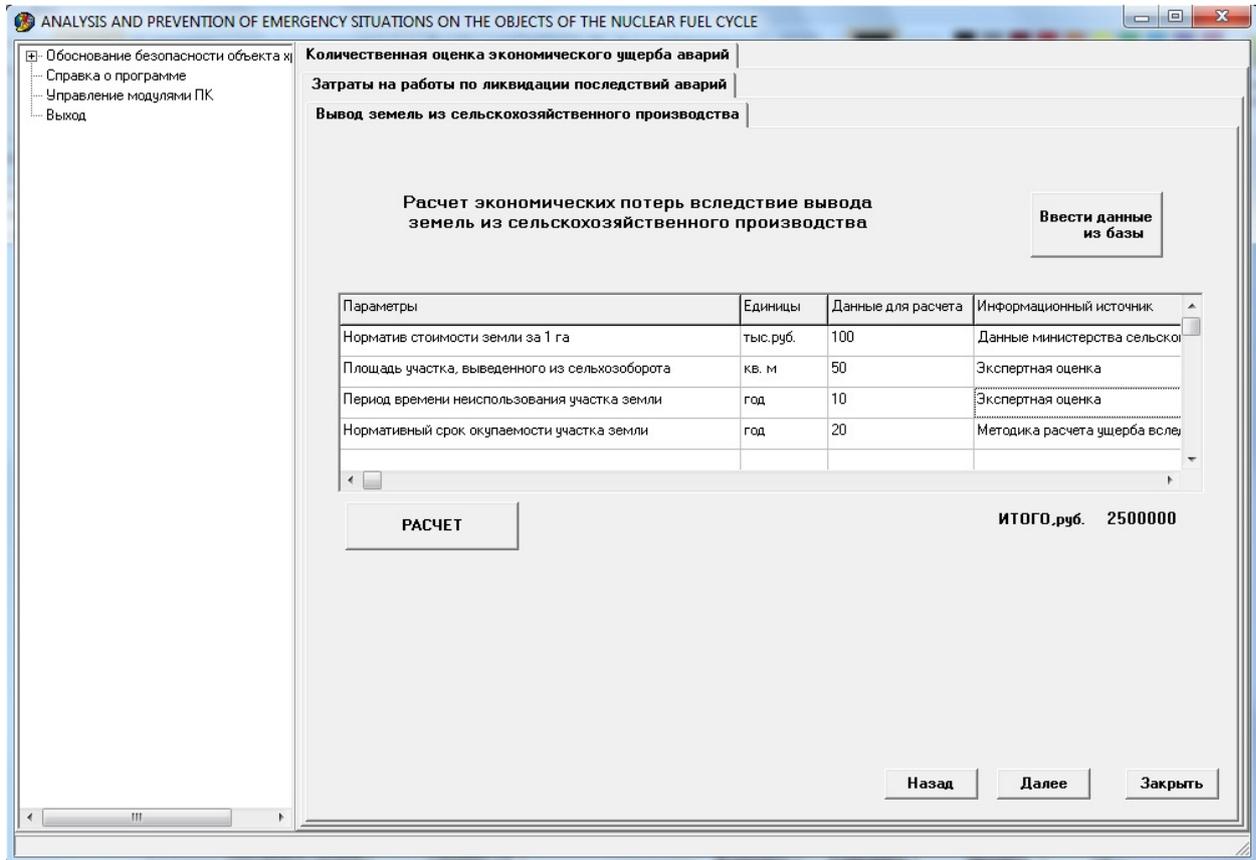


Рис. 23. Расчет экономических потерь вследствие вывода земель из сельскохозяйственного производства

Причем имеется возможность автоматического заполнения пунктов 1, 4, 5 из сформированной базы.

Столбец «Всего затрат, руб.» заполняется автоматически с использованием формулы из пункта 2.4.

Также в ячейке «ИТОГО, руб.» производится автоматическое суммирование потерь вследствие вывода земель из сельскохозяйственного производства.

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на вкладку «Оценка имущественных потерь физических и юридических лиц в результате радиационной аварии».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на вкладку «Расчет затрат на транспортирование и захоронение РАО».

По нажатию на кнопку «Заккрыть» происходит переход на главную форму.

Вкладка «Оценка имущественных потерь физических и юридических лиц в результате радиационной аварии»

Параметры	Единицы	Данные для расчета	Информ.
Населенный пункт		Динитровград	
Количество физ. лиц (населения), понесших потери	чел.	0	В зоне в
Стоимостная оценка имущества, на 1 человека из населения	тыс.руб.	100	Эксперт
Доля безвозвратных потерь имущества физ. лиц		0,5	Эксперт
Общий жилой фонд выведенный из эксплуатации	кв.м	0	В зоне в
Средняя цена кв. метра жилья в населенном пункте	тыс.руб.	26550	Приказ I
Ср. обеспеченность 1 чел. из населения России кв. м жилья		19,7	http://ww
Годовой финансовый оборот фирм	тыс.руб.	0	В зоне в
Время прекращения фирмами операций	год	0	В зоне в
Стоимость совокупного движимого имущества всех юр. лиц	тыс.руб.	0	В зоне в
Стоимость недвижимого имущества фирм	тыс.руб.	0	В зоне в

Рис. 24. *Вкладка «Оценка имущественных потерь физических и юридических лиц в результате радиационной аварии»*

На вкладке в виде двух таблиц (см. рис. 24) задаются следующие сведения:

- 1– населенный пункт;
- 2– количество физических лиц (населения), понесших имущественные потери в результате аварии;
- 3– стоимостная оценка имущества, приходящаяся на одного человека из населения (включая детей);
- 4– доля безвозвратных потерь имущества физических лиц (населения), изменяется от 0 до 1 (При безвозвратной потере имущества (при эвакуации населения из зоны сильного загрязнения, сильном загрязнении имущества и невозможности его дезактивации и т.д.) задается «1», а при частичной потере – рекомендуется задание значения «0,5»);
- 5– доля безвозвратных потерь для квартиры (и вообще для недвижимого имущества) принимается равной 1 при задании в 3 «1» или «0» во всех остальных случаях;
- 6– средняя цена квадратного метра жилья в населенном пункте (задается только если в 3 задано «1»);

7– среднюю обеспеченность одного человека из населения России кв. м жилья (задается только если в 3 задано «1»);

8– годовой финансовый оборот фирм населенного пункта подвергшегося радиационному воздействию;

9– время, потерянное фирмами вследствие прекращения операций в результате радиационной аварии;

10– стоимость совокупного движимого имущества всех юридических лиц, пострадавших в результате радиационной аварии;

11– стоимость недвижимого имущества фирм;

12– источники информации по рассматриваемым показателям.

Столбцы «Всего затрат, руб.» заполняется автоматически с использованием формул из пункта 2.4.

Также в ячейках «ИТОГО, руб.» производится автоматическое суммирование имущественных потерь физических и юридических лиц.

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на форму «Итоговые данные об ущербе».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на вкладку «Расчет экономических потерь вследствие вывода земель из сельскохозяйственного производства».

По нажатию на кнопку «Заккрыть» происходит переход на главную форму.

Форма «Итоговые данные об ущербе»

На форме в виде таблицы (см. рис. 25) выводятся следующие сведения:

1– наименование аварии;

2– количество выброшенных в окружающую среду ОВ;

3– активность выброшенных в окружающую среду ОВ;

4– доза облучения персонала;

5– способ расчета доз облучения населения;

5– коллективная доза облучения населения;

6– экономическая оценка вреда для здоровья населения и персонала с использованием значения коллективной дозы;

7– экономическая оценка вреда для здоровья населения и персонала с использованием значения пороговых доз облучения;

8– итоговая сумма затрат на проведение работ, по обследованию помещений и территорий, загрязненных радионуклидами;

9– итоговая сумма затрат на проведение работ, по дезактивации помещений и территорий, загрязненных радионуклидами;

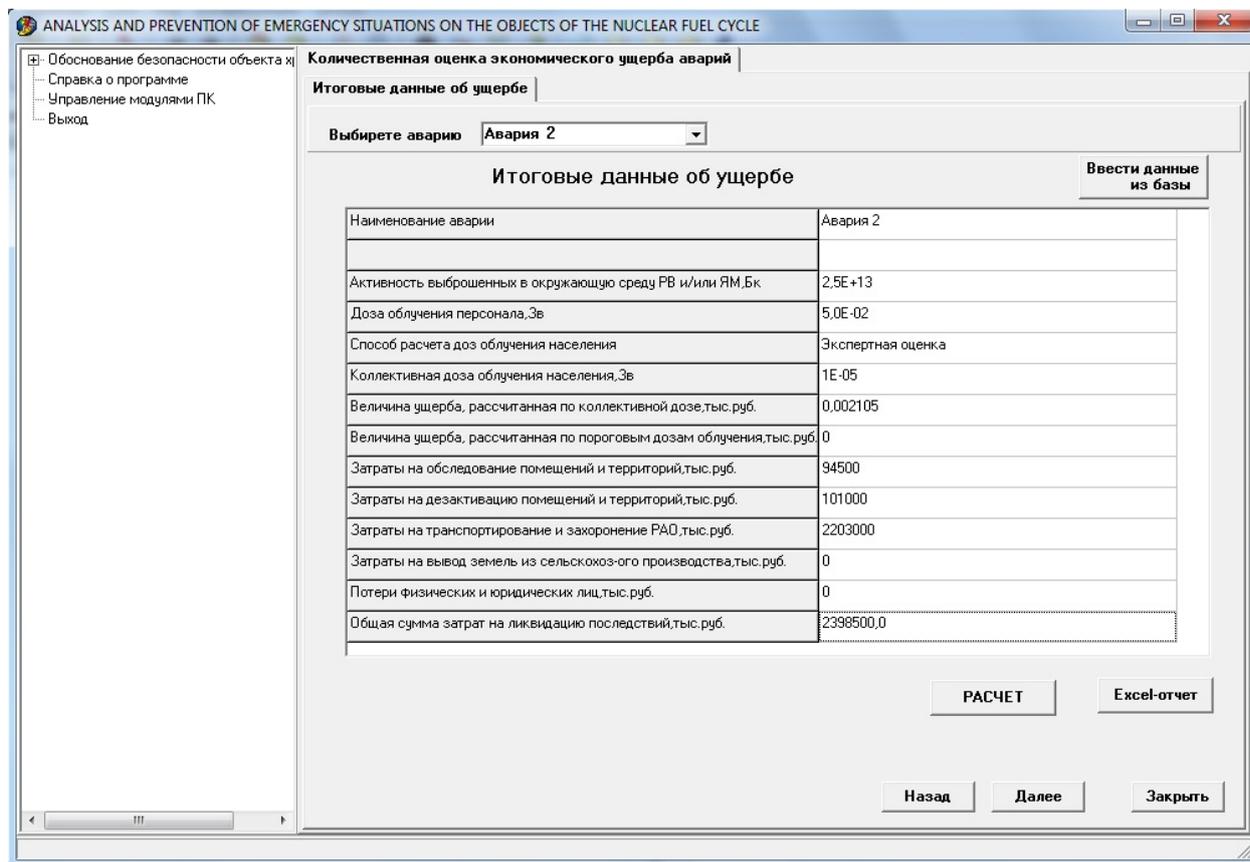


Рис. 25. Форма «Итоговые данные об ущербе»

10– итоговой суммы затрат на проведение работ, по транспортированию и захоронению РАО;

11– экономические потери вследствие вывода земель из сельскохозяйственного производства;

12– имущественные потери физических и юридических лиц в результате радиационной аварии;

13–Общая сумма затрат на ликвидацию последствий радиационной аварии.

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход в модуль «Классификация риска аварий».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на форму «Затраты на работы по ликвидации последствий аварий».

По нажатию на кнопку «Заккрыть» происходит переход на главную форму.

Классификация риска аварий

Модуль «Классификация риска аварий» состоит из двух форм: «Построение матрицы риска» и «Рекомендации по планированию корректирующих мероприятий».

Форма «Построение матрицы риска»

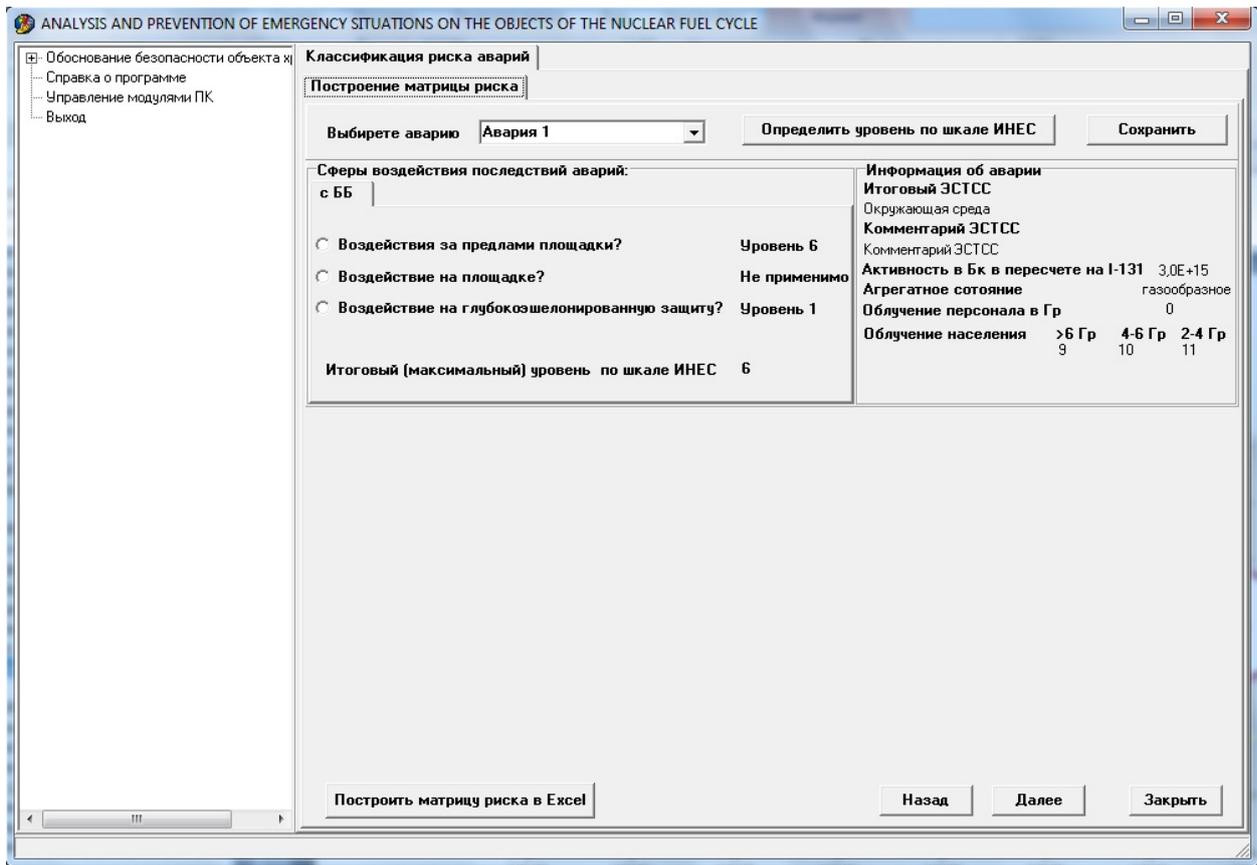


Рис. 26. Форма «Построение матрицы риска»

Рабочая область формы (см. рис. 26) заполняется автоматически при переходе на вкладку. В дальнейшем для уточнения данных о тяжести воздействия аварий проводится уточнение с помощью диалогового поля, реализующего блок-схемы описанные в разделе 3.1.

По нажатию на кнопку «Построить матрицу риска в Excel» происходит передача информации о вероятностях и тяжести последствий аварий в шаблон Excel и построение матрицы ядерного и радиационного риска проанализированных аварий.

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход на форму «Рекомендации по планированию корректирующих мероприятий».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход в модуль «Количественная оценка экономического ущерба аварий».

По нажатию на кнопку «Закреть» происходит переход на главную форму. Форма «Рекомендации по планированию корректирующих мероприятий»

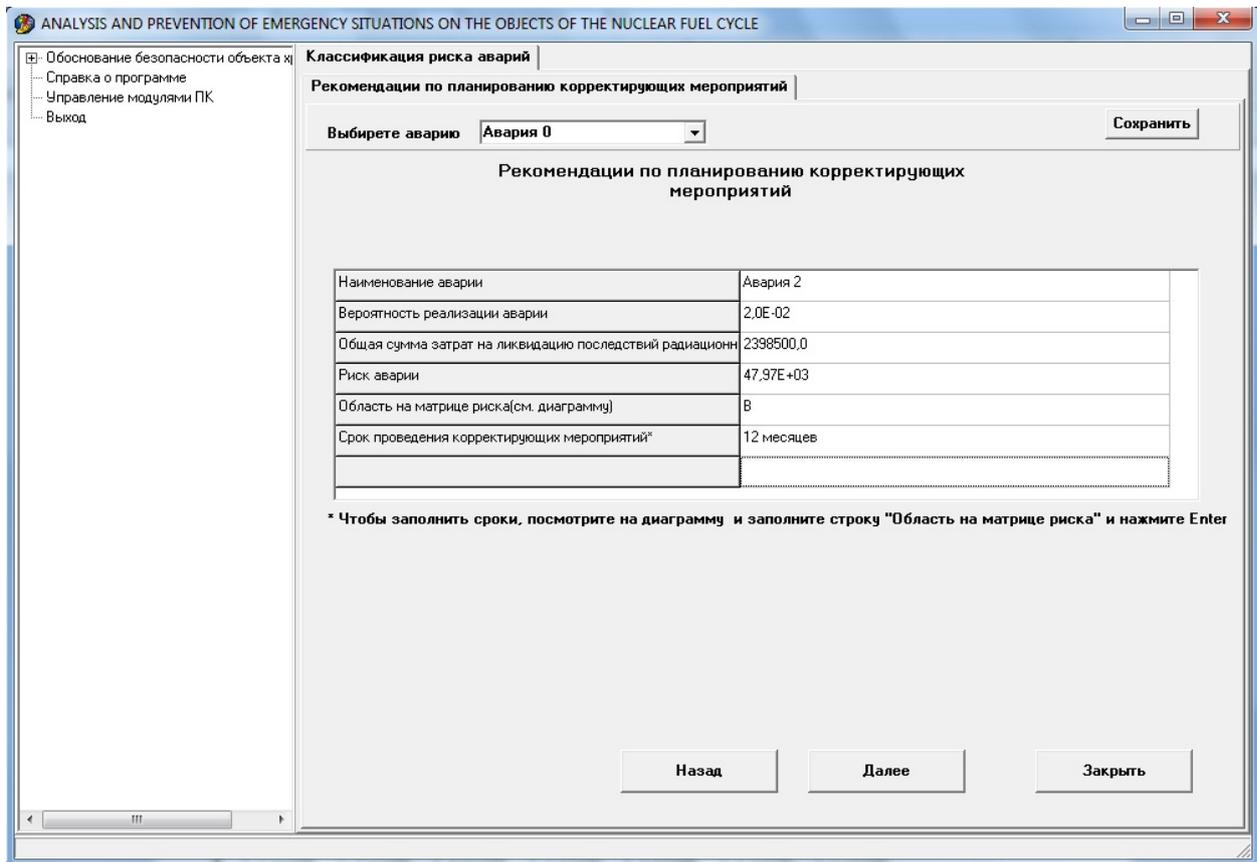


Рис. 27. Форма «Рекомендации по планированию корректирующих мероприятий»

На форме в виде таблицы выводятся следующие сведения (см. рис. 27):

- 1– наименование аварии;
- 2– вероятность реализации аварии;
- 3– общая сумма затрат на ликвидацию последствий радиационной аварии;
- 4– риск аварии;
- 5– область на матрице риска;
- 6– необходимость проведения корректирующих мероприятий (имеется/отсутствует);
- 7– срок проведения корректирующих мероприятий;

По нажатию на кнопку «Далее» происходит переход в модуль «Заключение об уровне безопасности РОО».

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход на форму «Построение матрицы риска».

По нажатию на кнопку «Закреть» происходит переход на главную форму.

Заключение об уровне безопасности объекта

Модуль состоит из одной формы «Заключение об уровне безопасности объекта».

Форма «Заключение об уровне безопасности объекта»

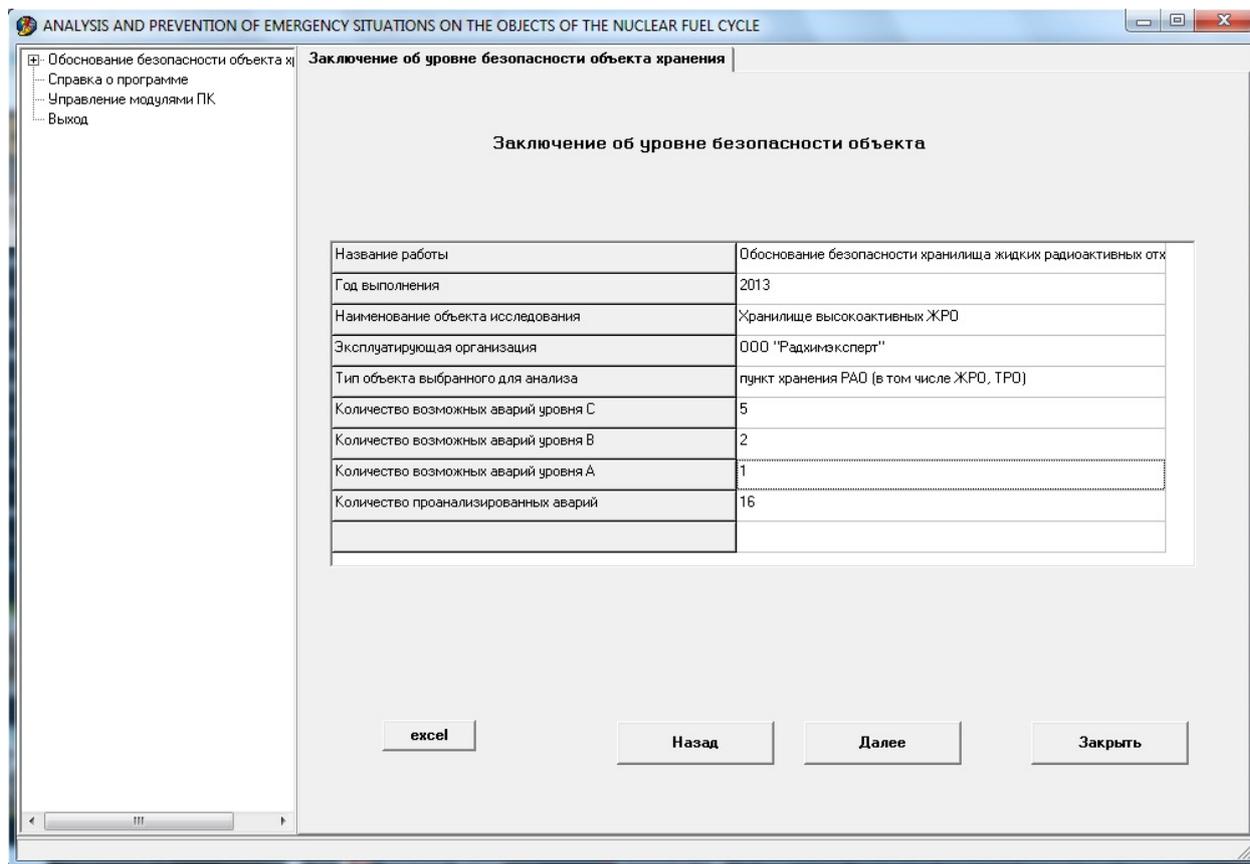


Рис. 28. Форма «Заклучение об уровне безопасности объекта»

На форме (см. рис. 28) выводятся следующие сведения:

- 1– название работы
- 2– год выполнения
- 3– наименование объекта исследования
- 4– эксплуатирующая организация
- 5– тип объекта выбранного для анализа
- 6– количество возможных аварий уровня С
- 7– количество возможных аварий уровня В
- 8– количество возможных аварий уровня А
- 9– количество возможных аварий с недопустимым риском
- 10– количество проанализированных аварий.

Также на форме с помощью элементов пользовательского интерфейса (см. рис. 28) реализована возможность передачи основных результатов работы программного комплекса в Excel для последующего вывода на печать.

По нажатию на кнопку «Далее» открывается диалоговое окно «Выбор проекта» (см. рис. 2).

По нажатию на кнопку «Назад» происходит переход в модуль «Классификация риска аварий».

По нажатию на кнопку «Закреть» происходит переход на главную форму.