

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ГОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра охраны труда

Г.В. Чумарный

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА
К АНАЛИЗУ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

Методические указания
для студентов очной и заочной форм обучения
всех направлений и специальностей ФЭУ

Екатеринбург
2011

Печатается по рекомендации методической комиссии МТД.
Протокол № 1 от 10 сентября 2010 г.

Рецензент – д. б. н., зав. каф. охраны труда, проф. В.Н. Старжинский

Редактор О.В. Атрошенко
Оператор компьютерной верстки Г.И. Романова

Подписано в печать 04.04.11		Поз. 94
Плоская печать	Формат 60x84 1/16	Тираж 50 экз.
Заказ №	Печ. л. 0,93	Цена 5 руб. 12 коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

Предисловие

При написании дипломной работы студент должен применять знания курса «Безопасность жизнедеятельности», анализировать производственные опасности и вредности, которые потенциально присущи тому или иному технологическому процессу или оборудованию. При необходимости ему нужно предлагать технические решения по обеспечению безопасных условий труда на производстве: грамотно решать вопросы рациональной планировки оборудования производственных помещений, выбирать надежные и наиболее эффективные средства защиты от опасностей и вредностей.

Также для успешного написания и защиты квалификационной работы дипломник должен проявить способность к разносторонней оценке поставленной перед ним задачи, суметь выделить и проанализировать наиболее важные проблемы на пути её решения. Необходимо понимание важности данного раздела для дипломного проекта в целом.

Планирование и написание раздела «Безопасность проекта» осуществляются на основании информационных материалов, собранных студентом в период преддипломной практики, с обязательной ссылкой на источники: нормативную, справочную и научную литературу по охране труда.

В отчете о преддипломной практике студент должен привести все материалы по охране труда, которые органически связаны с дальнейшей разработкой проектируемого, реконструируемого или исследуемого объекта.

Дипломный проект (работа) должен быть выполнен в соответствии с требованиями ЕСКД (единой системы конструкторской документации), ОТ (охраны труда), ССБТ (системы стандартов безопасности труда), строительных и других правил и норм.

Контроль над выполнением раздела «Безопасность проекта» и консультацию по возникающим вопросам осуществляет преподаватель кафедры охраны труда.

Для качественного выполнения дипломником оценки безопасности промышленного предприятия представляется полезным применение элементов системного анализа.

Системный анализ безопасности: основные понятия

Системный анализ – это совокупность методологических средств, используемых для подготовки и обоснования решений по сложным проблемам, в данном случае по безопасности.

Система – это совокупность компонентов, взаимодействующих между собой таким образом, что достигается определенный результат (цель).

Под *компонентами* (элементами, составными частями) системы понимаются не только материальные объекты, но и связи между ними. Любая машина представляет собой пример технической системы.

Система, одним из элементов которой является человек, называется *эргатической*. Примеры эргатических систем: «человек – машина», «человек – машина – окружающая среда» и т. д. Вообще говоря, любой предмет может быть представлен как системное образование.

Принцип системности предполагает рассмотрение компонентов в их взаимосвязи, т. е. как целостный набор, или комплекс. Цель или результат, который дает система, называют *системообразующим элементом*. Например, такое системное явление, как горение (пожар), возможно при наличии следующих компонентов: горючее вещество, окислитель, источник воспламенения. Исключая хотя бы один из названных компонентов, мы разрушаем систему.

Системы имеют качества, которых не может быть у их образующих. Это важнейшее свойство систем, называемое *эмерджентностью*, лежит, по существу, в основе системного анализа вообще и проблем безопасности в частности.

Цель системного анализа безопасности состоит в том, чтобы выявить причины нежелательных событий (аварий, катастроф, пожаров, травм и т. п.) и разработать предупредительные мероприятия, уменьшающие вероятность их появления.

Надежность – это свойство объекта выполнять технологические функции в установленных пределах и во времени.

Для количественной оценки надежности применяют вероятностные методы и величины.

Одно из основных понятий теории надежности – отказ.

Отказ – это нарушение работоспособного состояния технического устройства из-за прекращения функционирования или из-за резкого изменения его параметров.

В теории надежности оценивается вероятность отказа, то есть вероятность того, что техническое средство откажет в заданный период работы. В современных технических системах интенсивность отказов лежит в пределах 10^{-7} – 10^{-8} час⁻¹. Теория надежности позволяет оценить срок службы, по истечении которого техническое средство вырабатывает свой технический ресурс и должно подвергнуться капитальному ремонту, модернизации или замене.

Техническим ресурсом называется продолжительность непрерывной или суммарной периодической работы от начала эксплуатации до наступления отказа.

Информация о надежности накапливается в процессе эксплуатации технических систем и используется в расчетах надежности. При этом выявляются ненадежные элементы и факторы, ускоряющие или вызывающие отказы, слабые места в конструкции, а также разрабатываются рекомендации по улучшению устройств и оптимальным режимам их работы.

При таком подходе принимают в расчет и строение системы, и свойства отдельных ее компонентов, причем:

1) под системой понимают совокупность машин, оборудования, средств управления и операторов, требуемую для достижения определенной цели либо для реализации проекта;

2) реальная система представляется в виде некоторого образа, называемого *моделью системы*. Под *моделями* понимают отображения всех параметров систем, выполненные таким образом, что они показывают взаимосвязь этих параметров. Моделирование неизбежно сопровождается некоторым упрощением и формализацией взаимосвязей в системе. Эта формализация может быть осуществлена в виде логических (причинно-следственных) и/или математических (функциональных) отношений.

Поведение систем и их моделей должно подчиняться одним и тем же правилам.

В целях идентификации опасностей были разработаны многочисленные процедуры и методики анализа систем. К числу методик индуктивного анализа относится анализ надежности, анализ отказов и их последствий, анализ человеческого фактора при рассмотрении операций и ошибок и деревья событий.

При дедуктивном анализе используется метод *дерева отказов*. Все эти методики могут применяться независимо одна от другой, но в сочетании они представляют собой более ценный аналитический инструмент.

В процессе построения дерева отказов можно выделить два основных аспекта:

- а) определение и описание типов отказов и сбоев;
- б) определение последовательности или комбинации отказов как между собой, так и с «нормальными» событиями, приводящими в конечном счете к появлению нежелательного события.

После исследования различных отказов и их последствий переходят к поиску предупредительных мероприятий, который базируется непосредственно на данных, полученных на предшествующих стадиях изучения проблемы, и является этапом дополнения этих данных.

Дерево причин и опасностей как система

Любая опасность реализуется, принося ущерб, по одной или нескольким причинам. Без причин нет реальных опасностей. Следовательно, предотвращение опасностей или защита от них базируется на знании причин. Между реализованными опасностями и причинами существует причинно-следственная связь; опасность есть следствие некоторой причины (причин), которая, в свою очередь, является следствием другой причины, и т. д. Таким образом, причины и опасности образуют иерархические, цепные структуры, или системы. Графическое изображение таких зависимостей напоминает ветвящееся дерево. В зарубежной литературе, посвященной безопасности объектов, используются такие термины, как *дерево причин*, *дерево отказов*, *дерево опасностей*, *дерево событий*. В строящихся деревьях, как правило, имеются ветви причин и опасностей, что полностью отражает диалектический характер причинно-следственных связей, в качестве примера рассмотрим рис. 1.



Рис. 1. Дерево событий, обусловленных разными аспектами опасного воздействия радиации на КЛА (космический летательный аппарат)

Построение деревьев является исключительно эффективным при выявлении причин нежелательных событий (аварий, травм, пожаров, дорожно-транспортных происшествий и т. д.). Многочисленный процесс ветвления дерева требует введения ограничений для определения его пределов. Эти ограничения полностью зависят от целей исследования. И пределы ветвления определяются логической целесообразностью получения новых ветвей (рис. 2).

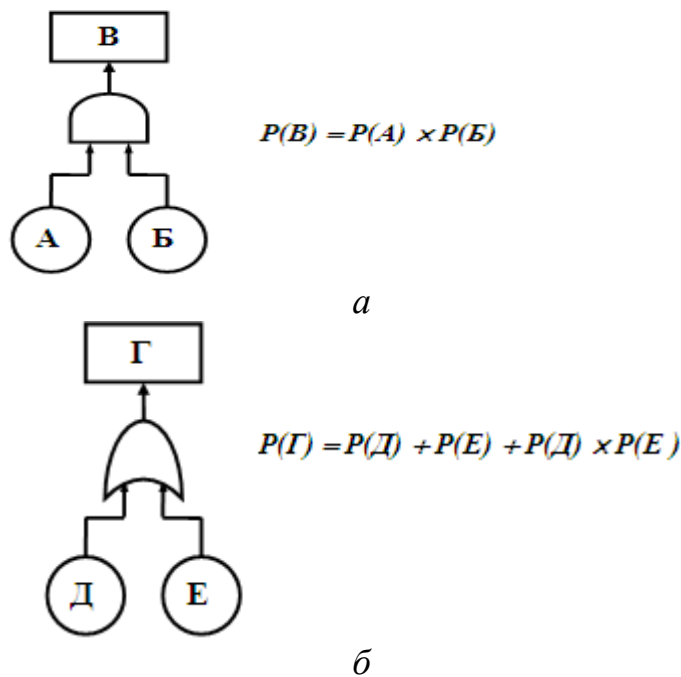


Рис. 2. Графическое изображение событий, вводимых логическими знаками «И» (а) и «ИЛИ» (б)

Операция «ИЛИ» указывает: для того чтобы произошло событие Γ , должно произойти одно из следующих событий: D или E (не исключается и реализация обоих событий: D и E) [1].

Пример процедуры построения дерева отказов, его качественный и количественный анализ

В общем случае для реализации происшествия необходимо одновременное выполнение трех условий: наличие источника опасности, присутствие человека в зоне действия источника опасности, отсутствие у человека защитных средств (рис. 3).

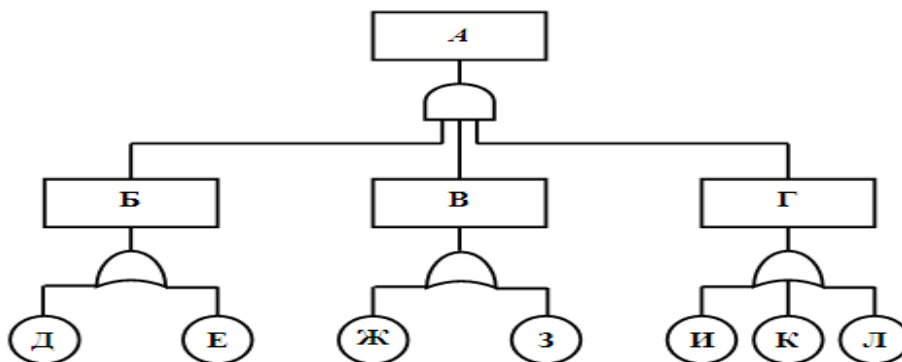


Рис. 3. Дерево отказов для анализа причин поражения человека электрическим током

Будем считать, что необходимым и достаточным условием поражения человека электрическим током является включение его тела в цепь, обеспечивающую прохождение тока. Следовательно, чтобы произошел несчастный случай (событие A), необходимо одновременное выполнение по крайней мере трех условий: наличие потенциала на металлическом корпусе электроустановки (событие B), появление человека на заземленном проводящем основании (событие B), касание человеком корпуса электроустановки (событие Γ).

В свою очередь событие B может быть следствием любого из событий-предпосылок D и E (например, нарушение изоляции или смещение неизолированного контакта и касание им корпуса). Событие B может появиться как результат предпосылок $\mathcal{Ж}$ и $\mathcal{З}$, когда человек становится на заземленное проводящее основание или касается телом заземленных элементов помещения. Событие Γ может явиться одной из трех предпосылок I , K и L – ремонт, техобслуживание или работа установки.

Анализ дерева отказов состоит в выявлении условий, минимально необходимых и достаточных для возникновения или невозникновения головного события. Модель может давать несколько минимальных сочетаний исходных событий, приводящих в совокупности к данному происшествию. В рассмотренном примере имеются двенадцать минимальных аварийных сочетаний: $D\mathcal{Ж}I$, $D\mathcal{Ж}K$, $D\mathcal{Ж}L$, $D\mathcal{З}I$, $D\mathcal{З}K$, $D\mathcal{З}L$, $E\mathcal{Ж}I$, $E\mathcal{Ж}K$, $E\mathcal{Ж}L$, $E\mathcal{З}I$, $E\mathcal{З}K$, $E\mathcal{З}L$ и три минимальных секущих сочетания, исключающих возможность происшествия при одновременном отсутствии образующих их событий DE , $\mathcal{Ж}\mathcal{З}$, $I\mathcal{K}L$.

Аналитическое выражение условий появления исследуемого происшествия имеет вид:

$$P(A) = (P(D) + P(E))(P(\mathcal{Ж}) + P(\mathcal{З}))(P(I) + P(K) + P(L)).$$

Подставив вместо буквенных символов вероятности соответствующих предпосылок, можно получить оценку риска гибели человека от электрического тока в конкретных условиях. Например, при равных вероятностях $P(D) = P(E) = \dots = P(L) = 0,1$ вероятность поражения человека электрическим током в рассматриваемом случае равна:

$$P(A) = (0,1+0,1)(0,1+0,1)(0,1+0,1+0,1) = 0,012.$$

Таким образом может быть рассчитана вероятность несчастного случая или аварии на производстве.

При построении дерева отказов выделяются случайные предшествующие события, устанавливаются связи между ними, анализируются факторы, носящие постоянный характер. Логическая структура дерева такова, что при отсутствии хотя бы одного из предшествующих событий несчастный случай произойти не может. При этом могут быть выявлены потенциально опасные факторы (т. е. не проявившие себя). Таким образом можно предотвратить повторение аналогичного несчастного случая.

Достоинствами такого моделирования опасностей являются простота, наглядность и легкость математической алгоритмизации исследуемых производственных процессов и технических систем. Оценка вероятности опасных ситуаций в системе «человек – техническая система» на стадии проектирования производства, технологий и технических систем позволяет повысить их безопасность. Для этой цели разрабатываются программы исследований факторов риска, проводятся испытания технических средств на соответствие требованиям безопасности. В случае невозможности надежного теоретического анализа применяются *экспертные оценки*. Методы экспертного оценивания используются при исследовании достаточно сложных объектов, когда имеются трудности в создании достоверных моделей функционирования больших систем. Эксперты являются специалистами в конкретных областях знаний и могут указать более предпочтительные варианты решений. Для обеспечения объективности оценки разработаны способы получения экспертной информации: парные и множественные сравнения, ранжирование, классификация. Экспертам предъявляются пары или множество объектов, и предлагается указать более предпочтительные из этих объектов, при ранжировании следует упорядочить по предпочтениям множество объектов. Эксперт может дать количественную оценку предпочтения; анализ и обработка экспертной информации проводятся с помощью математических методов.

Применяя различные методы, можно проводить систематические исследования на стадии проектирования и в ходе эксплуатации как целого предприятия, так и отдельной технической единицы.

Проверка качества проектируемых технических средств проводится испытанием опытных образцов, а затем, в процессе эксплуатации, периодическими испытаниями серийных образцов в условиях, приближенных к реальным условиям максимальных негативных воздействий (механических, климатических и др.). Эти условия создаются с помощью вибростендов, климатических камер и т. д. Выявление, анализ и устранение дефектов повышают надежность технологий и технических систем. Классификации отказов на этапе проектирования и производства позволяют определить факторы, имеющие преобладающее значение в формировании причин опасных ситуаций.

Методология анализа рисков

Цель процесса оценивания рисков состоит в определении их характеристик в системе. На основе таких данных выбираются необходимые средства управления безопасностью.

В процессе оценивания рисков выделим несколько этапов.

Этап 1. Предварительный анализ опасности (ПАО).

1.1. Выявление источников опасности.

1.2. Определение частей системы, вызывающих эти опасности.

1.3. Введение ограничений на анализ, т. е. исключение опасностей, которые не будут рассматриваться.

Этап 2. Выявление последовательности опасных ситуаций, построение дерева событий и опасностей.

Этап 3. Анализ последствий и определение рисков.

Риски характеризуют опасности, которым подвергается система и использующая ее организация, и зависят от:

- показателей ценности ресурсов;
- вероятностей нанесения ущерба ресурсам (выражаемых через вероятности реализации угроз для ресурсов);
- степени легкости, с которой уязвимости могут быть реализованы при возникновении угроз (уязвимости системы защиты);
- существующих или планируемых средств обеспечения безопасности.

Приложение 1. Примеры графического отображения реализации событий с применением логических операций «И» и «ИЛИ»

И – логическая операция «И» указывает, что выходное событие произойдет, если все входные события случатся одновременно;

ИЛИ – логическая операция «ИЛИ» указывает, что для проявления выходного события достаточно совершения любого из входных событий;

А, Б и т. д. – входные события;

выходное событие

Пример 1

Пожар случится, если одновременно произойдут два события (логическая операция «И»): появится горючее вещество и источник зажигания (рис. 4).

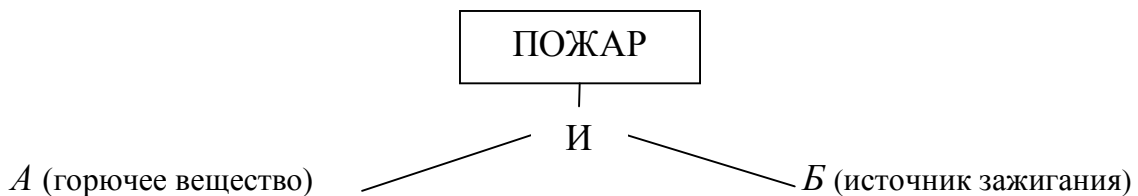


Рис. 4. Схема реализации логической операции «И»

Вероятность реализации события при логической операции «И» можно получить по формуле

$$B(\text{пожара}) = B(A) \cdot B(B), \quad (1)$$

где B – вероятности входящих (A и B) и выходящего (пожар) событий.

Пример 2

Дорожно-транспортное происшествие случится, если произойдет любое из событий – правило движения нарушит пешеход или нарушение допустит водитель (рис. 5).

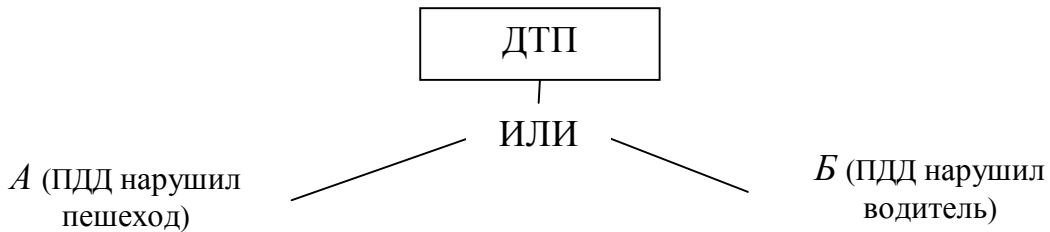


Рис. 5. Схема реализации логической операции «ИЛИ»

Вероятность реализации события при логической операции «ИЛИ» можно получить по следующей формуле:

$$V(\text{ДТП}) = V(A) + V(B) - V(A) \cdot V(B). \quad (2)$$

Анализ безопасности, выполненный до наступления нежелательных последствий, называется *априорным*. Цель – предупреждение аварий, катастроф, пожаров и т. п.

Анализ безопасности, выполненный после наступления нежелательных последствий, называется *апостериорным*. Цель – разработка рекомендаций, направленных на предупреждение (неповторение) подобных событий.

Приложение 2. Пример формирования управленческих воздействий на производственный объект на основании мониторинга опасности

Категорирование опасностей проведено на примере объектов газораздаточной станции ОАО «Московский нефтеперерабатывающий завод», предназначенной для приема, смешения, хранения, перекачивания и отгрузки сжиженных углеводородных газов. Анализ видов и последствий отказов на объектах газораздаточной станции позволил выявить возможные причины отказа оборудования и последствия. В результате выявлено и описано порядка 50 возможных событий на объектах. На основании проведенного анализа эрготехнической системы, содержащей около 500 элементов, разработаны деревья отказов наиболее опасных событий: взрыв на территории резервуарного парка [2] и взрыв в помещении насосной станции (рис. 6). Значения вероятностей базовых событий дерева отказов для головного события «Утечка в помещении насосной станции» представлены в таблице.

Значения вероятностей базовых событий дерева отказов
для головного события «Утечка в помещении насосной станции»

Базовое событие	Вероятность отказа одного элемента, в течение года
Утечка из трубопровода	$2,6 \cdot 10^{-7}$
Износ основного кольца торцевого уплотнения	$1,7 \cdot 10^{-4}$
Ошибка оператора (ошибочное действие)	$1 \cdot 10^{-2}$
Износ подшипника	$6 \cdot 10^{-4}$
Отказ датчика контроля температуры подшипника	$2,9 \cdot 10^{-2}$
Несоответствие оборудования (подшипника) условиям эксплуатации	$6,6 \cdot 10^{-5}$
Отказ фланца	$8,6 \cdot 10^{-5}$
Отказ прокладки	$9 \cdot 10^{-5}$
Отказ резьбового соединения	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Преждевременное открытие предохранительного клапана	$2,5 \cdot 10^{-2}$
Внешняя утечка через клапан	$8,6 \cdot 10^{-5}$
Отказ нагнетательного клапана	$8,6 \cdot 10^{-4}$
Наличие источника зажигания	$1,2 \cdot 10^{-2}$

При обосновании значения вероятностей использовались источники [3, 4]. В действительности элементы, отвечающие за реализацию базовых событий, находятся либо в исправном состоянии, и тогда расчет проводится по данным надежности, либо в состоянии отказа, и тогда вероятность базового события принимается равной единице, а вероятность головного события увеличивается.

В наибольшей степени вероятность взрыва в помещении насосной станции зависит от состояния 12 элементов. При условии исправности всех элементов оборудования, отсутствия внешних и других нерасчетных воздействий вероятность взрыва в помещении насосной станции составила $2 \cdot 10^{-6}$ 1/год. Из всех возможных состояний 37 относятся к пространству работоспособных состояний системы, что доказано результатами проведенных расчетов на основании логики построения дерева отказов и констатации состояний элементов системы. Остальные неработоспособные состояния характеризуются проходными сочетаниями. В результате анализа дерева отказов для каждого из 37 работоспособных состояний получены значения вероятностей взрыва, которые группируются в диапазоны, что статистически обосновано по критериям Фишера, Стьюдента и Вилкоксона [2]. Ниже приводится дерево отказов, использованное в данном анализе (рис. 6).

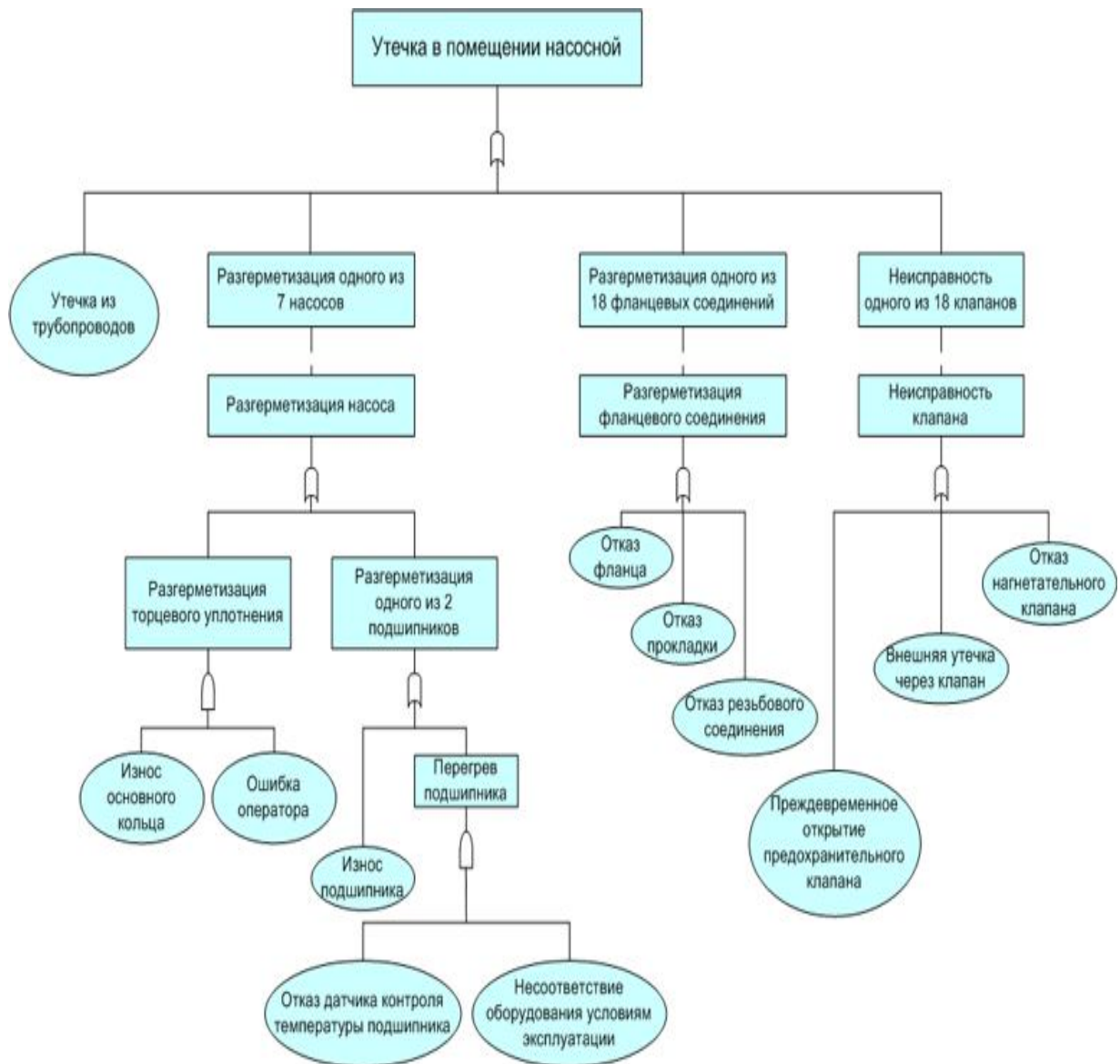


Рис. 6. Дерево отказов для события «Утечка газа в помещении насосной станции»

Библиографический список

1. Энциклопедия безопасности жизнедеятельности. Примеры расчета вероятности выходных событий [Текст]. URL: <http://bzhde.ru/primery-rascheta-veroyatnosti-vyходных-sobytij/> (дата обращения: 20.02.2011).
2. Кондратьев С.Ю., Суворова В.В., Мартынюк В.Ф. Идентификация признаков предаварийных ситуаций на опасных производственных объектах с помощью редуцированной декомпозиции угроз и логико-графического метода «дерево отказов» // Нефть, газ и бизнес. 2006. № 6. С. 47–51.
3. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
4. Хенли Э., Куamoto Х. Надёжность технических систем и оценка риска. М.: Машиностроение, 1984. 520 с.

Список рекомендуемой литературы

- Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере [Текст]: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Академия, 2003. 512 с.
- Хван Т.А., Хван П.А. Безопасность жизнедеятельности [Текст]: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. Ростов н/Д: Феникс, 2000. 352 с.
- Безопасность для всех [Текст]. URL: <http://security.meganet.md> (дата обращения: 10.09.2010).
- Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21 июля 1997 г. (с изменениями 22 августа 2004 г.) [Текст].
- Постановление Правительства Российской Федерации № 1094 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 13 сентября 1996 г. [Текст].
- РД 09-536-03 Методические указания о порядке разработки плана локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС) на химико-технологических объектах, утв. Постановлением Госгортехнадзора № 14 от 18.04.03 [Текст]. 28 с.
- ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Текст]. М., 1998. 54 с.



Г.В. Чумарный

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА
К АНАЛИЗУ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

Екатеринбург
2011