



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ПИ (филиал) ДГТУ в г. Таганроге
Кафедра «Машиностроение»

Методические указания по выполнению практической работы

«Системный анализ безопасности техноло-
гических процессов и устройств»
по дисциплине

«Безопасность жизнедеятельности»

Автор
Толмачёва Л.В.

Ростов-на-Дону, 2026

Аннотация

Методические указания по выполнению практической работы «Системный анализ безопасности технологических процессов и устройств» по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» предназначены для студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения по направлениям подготовки: 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», 22.03.02 «Металлургия».

Автор

канд. тех. наук, доцент кафедры «Машиностроение»
Толмачёва Л.В.



Оглавление

Введение.....	4
1 Цели выполнения контрольной работы.....	5
2 Теоретическая часть: Анализ безопасности систем и построение «деревьев причин (опасностей)».....	5
3 Пример построения дерева опасностей.....	15
4 Порядок выполнения практической работы.....	19
Перечень использованных информационных ресурсов	20

Введение

В последнее десятилетие самое широкое применение находят новые методы безопасности, риска и надежности систем, которые внедряются во все принципиально новые технологии, системы, устройства и т. п.

Понятия «анализ безопасности» и «анализ надежности» в настоящее время перекрываются и используются как равнозначные.

Многообразие причин аварийности систем и травматизма в производственных условиях позволяет утверждать, что самыми подходящими для оценки опасностей являются модели, представляющие собой процесс появления и развития цепи соответствующих предпосылок в виде диаграмм. Под диаграммами влияния причинно-следственных связей понимают некоторое формализованное представление моделируемых категорий (процессов, объектов, целей и свойств) с помощью графических символов.

Основными достоинствами выявления и оценки производственных опасностей с помощью диаграмм влияния служат высокая информативность представления и описания исследуемых факторов (свойств человеко-машинных систем), хорошая наглядность и декомпозируемость изучаемого процесса, однозначность понимания модели исследователем и потребителем, удобство интерпретации и обработки результатов алгоритмическими процедурами и ПК.

Самое широкое распространение получила в настоящее время диаграмма ветвящейся структуры, не имеющая циклов и называемая «дерево причин (отказов, опасностей, событий)».

Основными достоинствами моделирования опасностей с помощью «дерева» являются его простота, наглядность и легкость математической алгоритмизации исследуемых процессов с помощью ПК.

Ограничением в применении этих моделей лежит булевый характер рассматриваемых условий.

1 ЦЕЛЬ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

1. Ознакомление обучающихся всех направлений подготовки инженерной направленности с новым методом графического анализа безопасности (надежности) разрабатываемых систем, конструкций, приборов.

2. Получить начальные представления и навыки в проведении качественного анализа инженерных разработок.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ: АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ И ПОСТРОЕНИЕ «ДЕРЕВЬЕВ ПРИЧИН (ОПАСНОСТЕЙ)»

Изучение причин конкретного несчастного случая или аварии проводится с привлечением системного анализа — совокупности методологических средств, используемых для подготовки и обоснования для решений по проблемам безопасности.

Методологические подходы к определению риска:

1 - инженерный, опирающийся на статистику, расчет частоты опасности, вероятностный анализ безопасности, построение деревьев опасности;

2 - модельный, основанный на построении моделей воздействия вредных факторов на отдельного человека, социальные, профессиональные группы и др.;

3 - экспертный, когда вероятность различных событий определяется на основе опроса опытных специалистов, т.е. экспертов;

4 - социологический, основанный на опросе населения.

Система – совокупность взаимосвязанных компонентов (элементов, составных, частей), под которыми понимают также и отношения, и связи. Например, система «человек-машина». Цель системного анализа безопасности состоит в том, чтобы выявить причины, влияющие на появление нежелательных событий (аварий, травм, пожаров и т.п.) и разработать профилактические мероприятия, уменьшающие вероятность их проявления.

Любая опасность реализуется, принося ущерб, по

какой-то причине 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 чем-то напоминает ветвящееся дерево. В строящихся деревьях, как правило, имеются ветви причин и ветви опасностей, что полностью отражает диалектический характер причинно-следственных связей. Разделение этих ветвей нецелесообразно, а иногда и невозможно. Поэтому точнее называть полученные в процессе анализа безопасности объектов графических изображения «деревьями причин (опасностей)».

Построение «деревьев» является эффективной процедурой выявления причин различных нежелательных событий (аварий, травм, пожаров и т.п.). Многоэтапный процесс ветвления «деревя» требует введения ограничений с целью определения его пределов. Эти ограничения целиком зависят от целей исследования. Границы ветвления определяются логической целесообразностью.

Основной проблемой при анализе безопасности является установление параметров или границ системы. Если система будет чрезмерно ограничена, то появится возможность получения разрозненных несистематизированных профилактических мер, то есть некоторые опасные факторы могут остаться без внимания. С другой стороны, если рассматриваемая система слишком обширна, то результаты анализа могут оказаться крайне неопределенными.

Перед исследователем стоит также вопрос о том, до какого уровня следует вести анализ и ответ, на который зависит от конкретных целей анализа. Общий подход состоит в том, чтобы выявить события, на которые в данной конкретной ситуации можно повлиять с помощью

профилактических мер.

Чтобы отыскать и наглядно представить причинную взаимосвязь с помощью «дерева причин и опасностей», необходимы элементарные блоки, подразделяющие и связывающие большое число событий. Имеется два типа блоков: логические символы (знаки) и символы событий (таблицы 1,2).

Логические символы связывают события в соответствии с их причинными взаимосвязями. Обозначения логических символов (знаков) приведены в таблице 1. Логический знак может иметь один или несколько входов, но только один выход, или выходное событие.

Выходное событие логического знака «И» наступает в том случае, если все входные события появляются одновременно. С другой стороны, выходное событие у логического знака «ИЛИ» происходит, если имеет место любое из входных событий.



Рисунок 1 – Пример использования логических знаков «И» и «ИЛИ»

Примеры этих двух логических знаков показаны на рисунке 1. Событие «пожар начался» имеет место, если два события «утечка горючей жидкости» и «воспламенитель вблизи горючей жидкости» происходят одновременно. Последнее событие случается, если происходит одно из двух событий «есть искры» или «курящий».

Причинные связи, выраженные логическими знаками

«И» и «ИЛИ» являются детерминированными, так как поведение выходного события полностью определяется входными событиями. Имеются причины связи, которые не являются детерминированными. Рассмотрим два события: «человек сбит автомобилем» и «человек умер». Причинная связь между этими двумя событиями является не детерминированной, а вероятной, потому что несчастный случай не всегда заканчивается гибелью.

Шестиугольник, являющийся логическим знаком запрета, используется для представления вероятностных причинных связей. Событие, помещенное под логическим знаком запретом на рисунке 2, называется входным событием, в то время, как событие, расположенное сбоку от логического знака, называется условным событием.

Условное событие принимает форму события, если есть входное событие. Входное событие происходит, если и входное и условное событие имеют место. Логический знак запрета часто появляется в тех случаях, когда событие вызывается по требованию.

Таблица 1 –Логические символы

Строка	Символ логического знака	Название логического знака	Причинная взаимосвязь
1		Знак «И»	Выходное событие происходит, если все входные события случаются одновременно
2		Знак «ИЛИ»	Выходное событие происходит, если случается любое из входных событий
3		Знак «Запрет»	Наличие входа вызывает появление выхода тогда, когда происходит условное событие
4		Знак «Приоритетное И»	Выходное событие имеет место, если все входные события происходят в нужном порядке слева направо
5		Знак «Исключающее ИЛИ»	Выходное событие происходит, если случается одно (но не оба) из входных событий
6		Знак m из n (голосования или выборки)	Выходное событие происходит, если случается m из n входных событий

Он используется главным образом для удобства и может быть заменен логическим знаком «И» (рисунок 3).

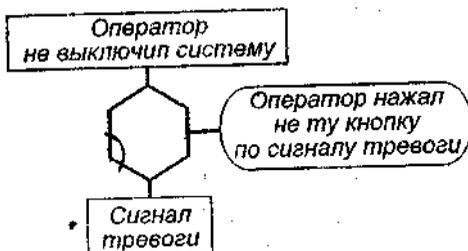


Рисунок 2 – Пример использования логического знака запрет

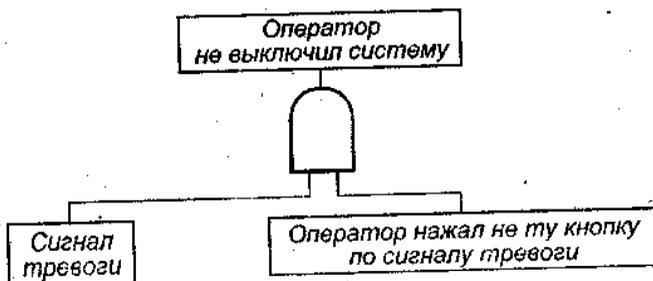


Рисунок 3 – Эквивалентное представление схемы, показанной на рисунке 2

Логический знак «**приоритетное И**» эквивалентен логическому знаку «И» с дополнительным требованием того, чтобы события на входе происходили, в определенной последовательности (слева направо). Появление событий на входе в другом порядке не вызывает события на выходе.

Логический элемент «**исключающее ИЛИ**» описывает ситуацию, в которой событие на выходе появляется, если одно из двух (но не оба) событий происходит на входе.

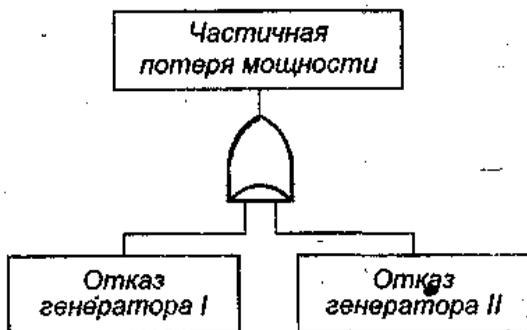


Рисунок 4 –Пример использования логического знака

Рассмотрим систему, питаемую от двух генераторов. Частичная потеря мощности может быть элементом «исключающее ИЛИ» (рисунок 4). «Исключающее **ИЛИ**» может быть заменено комбинацией логических элементов «И» и «**ИЛИ**» (рисунок 5).

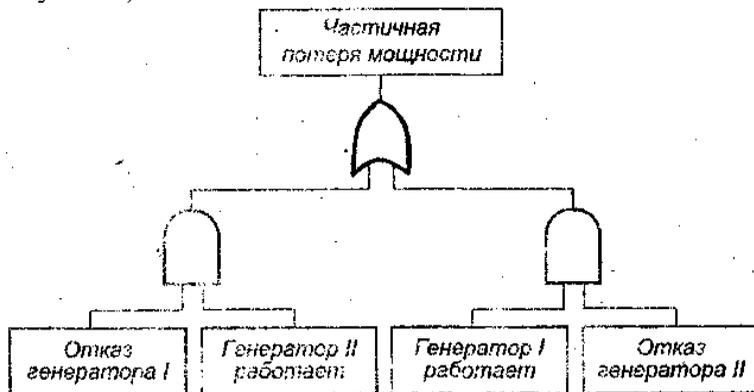


Рисунок 5– Эквивалентное представление схемы знака «Исключающее ИЛИ»

Логический знак голосования m из n имеет n событий на входе, а событие на выходе появляется, если происходит по меньшей мере m из n событий на входе. Рассмотрим систему выключения, состоящую из трех контрольных приборов. Предположим, что выключение системы происходит

тогда и только тогда, когда два из трех контрольных приборов выдают сигнал о выключении. Таким образом, ненужное выключение системы происходит, если два или большее число контрольных приборов выработают ложный сигнал на выключение, в то время как система находится в нормальном состоянии.

Эту ситуацию можно представить с помощью логического элемента «два из трех» (рис. 6).

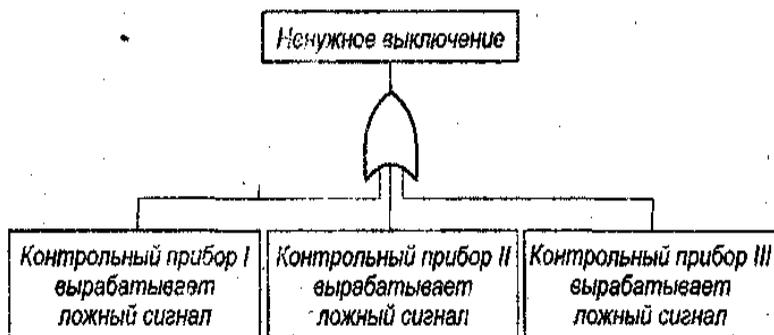


Рисунок 6 – Пример применения логического элемента «два из трёх»

Элемент голосования эквивалентен комбинации из логических элементов «И» и «ИЛИ» (рисунок 7).

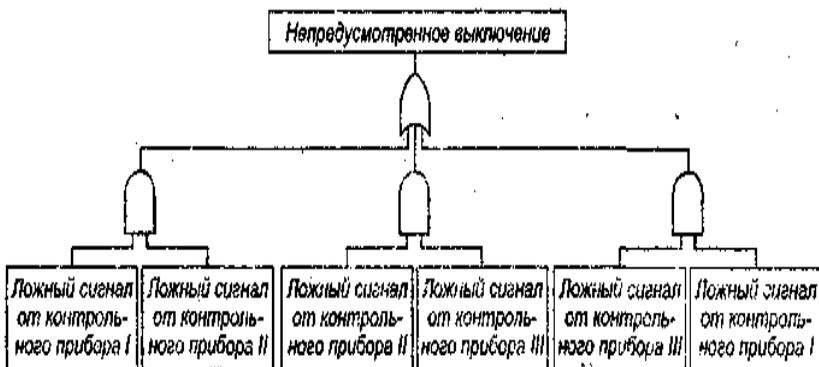


Рисунок 7 – Эквивалентное представление схемы, показанной на рисунке 6

Для специальных типов логических связей можно вводить новые элементы. Однако, как следует из рисунков 3, 5, 7, большинство специальных логических элементов можно заменить комбинацией логических «И» и «ИЛИ». Прямоугольный блок обозначает событие отказа, которое возникает в результате более элементарных исходных отказов, соединенных с помощью логических знаков. Круглый блок обозначает исходный отказ отдельного элемента (в пределах данной системы или окружающей среды), который определяет таким образом разрешающую способность данного «дерева». События, представленные в круглых блоках, называются исходными событиями. «Отказ клапана из-за износа» может быть примером исходного отказа элемента и помещается в круг. Обычно такое событие обуславливается определенным элементом, и когда оно происходит, этот элемент необходимо отремонтировать или заменить.

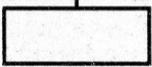
Ромбы используются для обозначения детально не разработанных событий в том смысле, что детальный анализ не доведен до исходных отказов в силу отсутствия необходимой информации, средств или времени. «Авария из-за саботажа или диверсии» является примером детально не разработанного события.

Иногда желательно рассмотреть различные особые случаи «дерева причин», заведомо предполагая, что одни события происходят, а другие события исключаются из рассмотрения. В таких случаях целесообразно пользоваться символом в виде домика. Когда этот символ включают в «дерево причин», предполагают, что данное событие обязательно происходит, и возникает противоположная ситуация, когда его исключают.

Пара треугольных символов «треугольник переноса из» и «треугольник переноса в» обозначают два подобных типа причинных взаимосвязей. Треугольник «переноса из» соединяется с логическим символом сбоку, а у треугольника «перенос в» линия связи проходит от вершины к другому логическому символу. Треугольники используются для того, чтобы упростить изображение «дерева причин» и

опасностей.

Таблица 2 – Символы событий

Строка	Символ события	Содержание события
1	 Круг	Исходное событие, обеспеченное достаточными данными
2	 Ромб	Событие, недостаточно детально разработанное
3	 Прямоугольник	Событие, вводимое логическим элементом
4	 Овал	Условное событие, используемое с логическим знаком «запрет»
5	 Домик	Событие, которое может случаться или не случаться
6	 Треугольник	Символ перехода

Построение дерева отказов начинается с процессов синтеза и анализа.

Синтез

1. Определяем наиболее общий уровень, на котором должны быть рассмотрены все события, являющиеся нежелательными для нормальной работы рассматриваемой системы.

2. Разделяем событие на несовместные группы, причем группы формируются по некоторым признакам, например, по одинаковым причинам возникновения.

3. Используя общие признаки, выделяем одно событие, к которому приводят все события каждой группы. Это событие является головным, и будет рассматриваться с помощью отдельного «дерева причин».

Анализ

1. Выбираем головное событие, которое должно быть предотвращено.

2. Определяем все первичные и вторичные события, которые могут вызвать головное событие.

3. Определяем отношения между вызывающими и головными событиями в терминах логических операций «И» и «ИЛИ».

4. Определяем величины, необходимые для дальнейшего анализа каждого из событий, выделенных на этапе 2 и 3. Для каждого вызывающего события, которое уточняется далее, повторяем этапы 2 и 3, причем термин «головное событие» теперь будет относиться к данному событию, которое продолжаем анализировать.

5. Продолжаем этапы 2, 3 и 4 пока либо все события не выразятся через основные события, либо перестаем дробить анализ дальше в силу незначительности событий, отсутствия данных и т.п.

6. Представляем события в виде диаграммы, используя описанную выше символику.

Диаграммы деревьев - причин очень полезны при качественном изучении безопасности систем. При построении диаграммы необходимо пользоваться следующими правилами.

ПРАВИЛО 1. Входные события для операции «ИЛИ» должны формулироваться так, чтобы они вместе исчерпывали все возможные пути появления выходного события. Кроме того, каждое из входных событий должно приводить к появлению выходного события.

ПРАВИЛО 2. События, входные по отношению к операции «И», должны формулироваться так, чтобы второе было условным по отношению к первому, третье условным по отношению к первому и второму, и последнее условным ко всем предыдущим.

ПРАВИЛО 3. Для любого события, подлежащего дальнейшему анализу, вначале рассматриваются все события, являющиеся входами операций «ИЛИ», а затем входы

операций «И». Это справедливо как для головного события, так и для любого события, анализ которого целесообразно продолжать.

Основными достоинствами моделирования рисков с помощью дерева опасностей (событий), способствующими его широкому применению, являются:

- простота,
- наглядность,
- легкость математической алгоритмизации исследуемых процессов с помощью ПК.

Основными недостатками моделирования рисков с помощью дерева опасностей (событий) являются:

- булевый характер рассматриваемых событий, который не позволяет учесть разновременность появления отдельных предпосылок (причин) и постепенность изменения параметров человекомашинных систем;
- нельзя представить циклические процессы (петли). Для этого нужно строить дополнительные деревья, что усложняет анализ.

3. ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ ДЕРЕВА ОПАСНОСТЕЙ

Предположим, что рассматриваемой системой является операция заточки инструмента.

Синтез. В соответствии с первым этапом синтеза можно перечислить события, которые должны быть предотвращены:

1. Касание кистью или пальцами наждачного круга.
2. Контакт локтевой части руки с кругом.
3. Попадание одежды в станок.
4. Попадание металлической крошки в глаз.
5. Электрический удар из-за плохого заземления.
6. Воспламенение из-за перегрузки двигателя.

Разумеется, это примерный перечень нежелательных событий, но он достаточен для примера. Более подробный список можно составить на основании записей об авариях за прошедшее время. В данном примере предполагается, что

нет существенной разницы в серьезности последствий каждого из перечисленных событий!

Второй этап синтеза состоит в разделении перечисленных событий на несовместные группы. События 1 и 2 тесно связаны и могут анализироваться совместно. То же справедливо для пары событий 5 и 6. Событие 4 обособленно и должно рассматриваться отдельно. Событие 3 можно рассматривать как часть группы, в которую входят события 1 и 2, но оно относится к одежде, а не к прямому контакту, поэтому его можно изучать отдельно (таблица 3).

Теперь для четырех групп можно сформулировать четыре головных события.

Таблица 3 – Выбор головного события

Событие	Головное событие
1 и 2	Контакт круга с человеком
3	Попадание одежды в станину
4	Попадание частиц в глаза
5,6	Аварии с двигателем

Для каждого из этих головных событий можно начать построение «дерева отказа», как описано в Анализе.

Анализ. Сначала анализируются входы операции «ИЛИ». В сферу рассмотрения могут возможности категории лиц; 1) операторы; 2) не операторы. Допустим, что, если очки надеты, то повреждений не происходит. Тогда несчастному случаю могут сопутствовать 2 показанных на схеме события.

На этом этапе полезно ознакомиться с регистрацией происшествий. Предположим, опыт показывает, что с очень малым количеством операторов происходят несчастные случаи, т.к. они почти все время носят защитные средства. События с оператором заключено в ромбик, т.к. нет смысла его анализировать дальше, хотя это возможно.

Допустим, что согласно записям, основная доля попавших в рассматриваемые происшествия – не операторы. Теперь

желательно проанализировать это событие, чтобы выявить его причину. Следует применить ПРАВИЛО 3 и попытаться подробнее разделить класс не операторов. Предположим, что нет существенных различий между не операторами или между различными последствиями такого разделения.

Переходим к объединению событий с помощью операции «И». Эта операция дает ответ на вопрос: «что должно произойти», а не «что могло бы произойти?». Для того, чтобы получил травму не оператор, должно произойти 4 события. Они перечислены под логическим знаком «И» на рисунке 8 ПРАВИЛО 2 применяется здесь так, что подразумевается условное событие. Первые 3 события не являются соподчиненными друг другу, но четвертое оказывается условным, поскольку оператор не может остановить неработающий станок.

Событие «мотивы войти в зону» анализируются по особым причинам. Допустим, многие из не операторов вынуждены подходить к стеллажу с инструментом, находящемуся в зоне станка. Для проводимого анализа неважно, почему стеллаж расположен именно так, и мы не будем разбираться в этих деталях. Рисунок 8 иллюстрирует ПРАВИЛО 1 в том смысле, что возможности исчерпаны, и каждый из входов связан с выходными событиями. На рис 8 показано «дерево причин» для головного события «Попадание частиц в глаз» (заточка). Это «дерево причин» служит для анализа несчастного случая, связанного с повреждением глаза, который может произойти при операции заточки инструмента.

Индивидуальная работа состоит из следующих частей:

1. Постановка задачи: краткая характеристика рассматриваемой системы (из каких узлов состоит, для каких целей предназначена, конструктивные особенности и т.д.).

2. Синтез

2.1. Перечень всех возможных нежелательных событий при эксплуатации проектируемого устройства, узла, системы (отказы, поломки, ложные сигналы и т.п.)

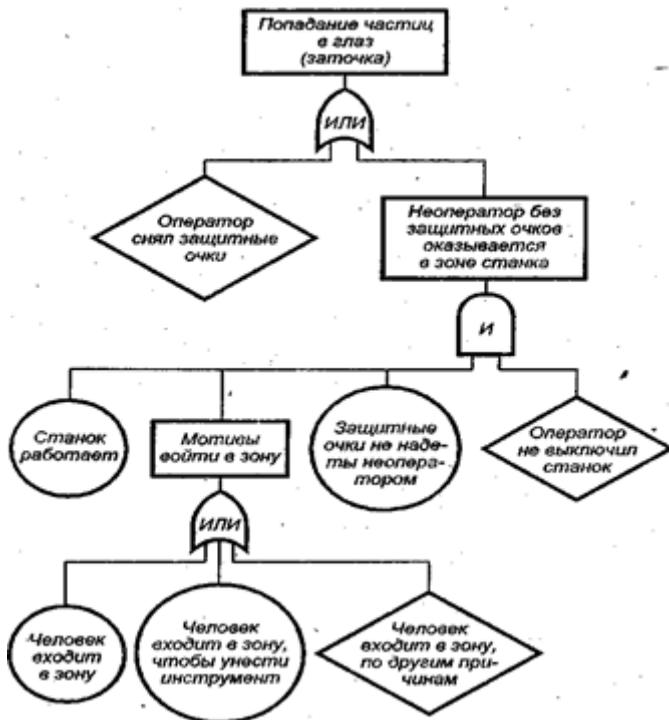


Рисунок 8 – Дерево причин для головного события «Попадание частиц в глаз»

2.2. Группирование перечисленных нежелательных событий в отдельные группы, объединенные по какому-либо принципу (принцип выбирается самостоятельно), и формулируется название каждой из полученных групп отказов

2.3. Выбирается головное событие, представляющее собой формулировку какой-либо из полученных групп отказов.

3. Анализ

Представляет собой описание причин, по которым может возникнуть головное событие, затем причины причин, причины причин, и т.д., то есть происходит углубление анализа и появление новых уровней причин. Все они описываются словесно, и обязательно обосновывается логический знак, связывающий причины каждого из уровней. Глубина анализа 5 – 6 уровней.

4. «Дерево отказов»

«Дерево отказов» строится на основании описанного анализа и содержит все обоснованные причины отказов.

Примечание: В графической структуре не должно быть причин, которые не описаны в предыдущем анализе.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

1. Выбрать самостоятельно систему (конструкция, прибор, узел) для проведения анализа и обсудить ее с преподавателем по курсу «Безопасность жизнедеятельности».

2. Внимательно изучив теоретический материал данной разработки, провести синтез и анализ выбранной системы, используя ПРАВИЛА 1, 2, 3.

3. Построить «дерево причин (отказов)»

4. Разработать мероприятия, способствующие повышению надежности (безопасности) анализируемой системы.

5. Оформить отчет о самостоятельной работе по теме «Системный анализ безопасности», в котором должны содержаться:

- чертеж (схема) анализируемой системы (прибора, узла);
- функциональное назначение анализируемой системы;
- синтез (этапы 1, 2, 3);
- анализ (описание шагов 1 – 6);
- «дерево причин (отказов)»;
 - перечень конкретных мероприятий по повышению безопасности (надежности) анализируемой системы.

6. Отчитаться перед преподавателем по курсу «Безопасность жизнедеятельности» о выполненной работе.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

1. Хенли, Э. Дж., Кумамото, Х. Надежность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. В.С. Сыромятникова, Г.С. Деминой. Под общ. ред. В. С. Сыромятникова. М.: Машиностроение, 2008. 528 с.

2. Браун Д.Б. Анализ и разработка методов обеспечения техники безопасности: Пер. с англ. М.' Машиностроение, 2000. 359 с.

3. Безопасность жизнедеятельности: Конспект лекций. Ч. 2 / Белов П. Г., Козьяков А.Ф., Белов С.В., Павлихин Г.П. и др. Под ред. С.В. Белова. М.: ВАСОТ, 2010. 164 с.

4. Фролов, А.В. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда: учеб. пособие для вузов / А.В. Фролов, Т. Н. Бакаева. - Ростов н/Д : Феникс, 2005. - 736 с.: ил.