

Методика оценки риска.

Метод обследования типов отказов и анализ их последствий.

Сложность современных технологических процессов, невозможность сразу охватить весь спектр явлений, способных приводить к аварийным ситуациям, делает целесообразным использование **метода деревьев событий (деревьев отказов)** для комплексного анализа устойчивости функционирования промышленной и экологической безопасности предприятий.

Достаточно удачным средством для нахождения компромиссов, обеспечения полного и взвешенного функционального описания проблем промышленной и экологической безопасности является использование представления знаний об изучаемых объектах и системах в виде **графических логических построений.**

Дерево отказов представляет собой дедуктивное логическое построение, которое использует **концепцию одного финального события** (как правило, авария или отказ блока, всей системы) с целью нахождения всех возможных путей, при реализации которых оно может произойти.

Методология исследований деревьев отказов

Метод основан на графическом логическом описании механизма отказов системы.

Ключевые теоретические основы метода – это предположение, что компоненты в системе либо работают успешно, либо отказывают полностью.

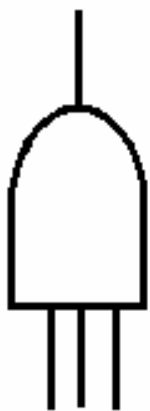
До начала построения дерева отказов необходимо специально определить **верхнее событие**. Необходимо детальное понимание работы систем ее компонентов, роли операторов и возможных человеческих ошибок.

Для этого рассматривается, какие события или их комбинации могут привести непосредственно к возникновению финального события. Затем каждое из этих событий рассматривается как вершина дерева, и процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнут такой уровень детализации, на котором полученные события уже будут неделимы в принципе или по соображениям решения задачи.

Такие события называют **базовыми, иницирующими, элементарными** или **исходными**. Все остальные события – *порожденными* или *промежуточными*.

Для графического изображения простейшего дерева событий существует базовый набор символических изображений, которые представлены на рис.

Выходные
данные

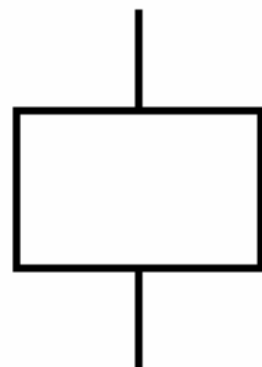


Ввод данных,
условие «И»

Выходные
данные



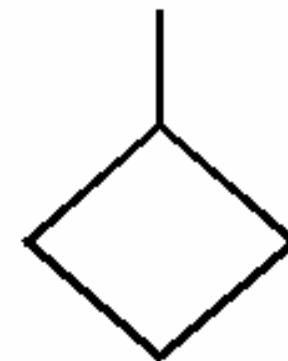
Ввод данных,
условие «ИЛИ»



Промежуточное
событие



Базовое событие



Неразвивающееся
событие

Данные типы вершин позволяют построить дерево отказов для большинства систем.

Однако, существуют ситуации, когда отказ наступает только при определенном порядке возникновения входных событий (отказов) или же в случае соблюдения некоторых временных условий (например: действие какого-нибудь фактора в течение определенного интервала времени), который больше допустимого, либо при некоторой комбинации этих требований. В этом случае построение и анализ деревьев отказов значительно усложняется.

Некоторые термины, необходимые для понимания рассматриваемого метода:

Событие – нежелательное отклонение от нормы или ожидаемого состояния компонентов системы.

Верхнее (главное) событие – это нежелательное событие или инцидент на вершине дерева отказов, от которого спускаются вниз, пользуясь логическими воротами.

Промежуточное событие позволяет комбинировать различные исходные события, которые рассматриваются в развитии посредством условий.

Исходное событие – отказ в работе оборудования или ошибка персонала, которые при рассмотрении не разбиваются на отдельные составные события более мелкого масштаба.

Неразвивающееся событие – возможные причины нежелательного события не рассматриваются в развитии по причине того, что условия возникновения данного события не достоверны или имеющейся информации не достаточно.

Условие (логические ворота) – логическая связь между входными событиями (событиями более низкого уровня) и отдельными выходными событиями (более высокого уровня).

Условие «и» объединяет входные события, каждое из которых должно существовать одновременно с другими.

Условие «или» используется в случае, если для определения последующего выходного события достаточно ввести данные об одном каком-либо предыдущем событии.

Минимальный набор сечений – минимальное число цепочек событий, при которых может произойти главное событие. Все события (отказы) соответствуют базовому или неразвивающемуся событию.

Большинство существующих методов анализа деревьев отказов основываются на поиске и изучении множества сечений и путей дерева.

Путь (сечение) – есть такая комбинация базовых событий, реализация которых приводит к возникновению главного события.

Сечение (путь) – есть такая комбинация базовых событий, одновременная нереализация которых приводит к невозможности возникновения данного события.

Минимальный путь – это группа событий или первичных источников отказов, которые могут привести к главному событию через минимальное число шагов.

С точки зрения *возникновения аварийных ситуаций* предпочтительнее производить анализ минимальных путей дерева. Зная вероятности их реализации, можно рассчитать вероятность возникновения главного события.

Если же решается *задача повышения надежности систем*, то гораздо эффективнее анализ минимальных сечений дерева отказов с целью найти наиболее простые способы повышения надежности системы.

Комбинация этих рассмотрений позволяет найти наиболее «узкие места» системы, найти эффективные способы повышения надежности технологической системы (ТС).

Из вышеизложенного рассмотрения видно, что концепция деревьев событий и отказов является перспективным методом решения задачи по надежности и безопасности, а также по определению риска функционирования ТС.

Однако следует отметить **некоторые принципиальные моменты**, связанные с использованием деревьев событий и отказов.

Первый принципиальный момент.

Дерево (вообще) **представляет собой структуру**, где каждый элемент (за исключением граничных) имеет один вход или один или более выходов, или наоборот – все зависит от того, в какую сторону проходится дерево, но не то и другое вместе.

Данное ограничение, накладываемое на понятие «дерево», приводит к некоторым сложностям в построении и анализе дерева.

Например, в случае дерева отказов (где все элементы кроме вершины дерева должны иметь один выход) *обычно существует событие, имеющее более одного выхода* (в качестве примера можно привести отказ электропитания ТС или наводнение).

Второй принципиальный момент, если на входах участка логической структуры создается благоприятная комбинация условий, то со стопроцентной вероятностью должно произойти порожденное событие.

В большинстве случаев так оно и есть, однако, можно привести ситуации, когда это не соблюдается, **например**, попадание камня в оконное стекло не всегда приводит к тому, что оно разбивается.

Для решения данной задачи в существующих алгоритмах приходится или вводить фиктивные события (функция которых заключается в том, что не всегда выдавать выходной сигнал, когда на входах присутствует благоприятная комбинация входных), или корректировать входные вероятности (например, вероятность попадания камня в окно заменятся вероятностью того, что оно разобьется; но это не позволяет учесть причины, которые привели к разбиению окна).

Отличительной особенностью функционирования человека в ТС является то, что ему свойственен принципиально новый тип отказа – ошибка в деятельности (временный неустойчивый отказ), и его также необходимо учитывать.

Проведения исследований.

Цели проведения исследований

Исследования применяют в целях:

- выявления всех путей, которые приводят к главному нежелательному событию при определенном стечении обстоятельств;
- определения минимального числа комбинаций событий, которые могут привести к главному событию;
- качественного определения основных причин нежелательного события;
- количественной оценки частоты вероятности нежелательного события;
- идентификации общего характера отказов или их общих причин, трудно выявляемых при рассмотрении изолированных подсистем;
- анализа чувствительности отдельных событий к отклонениям параметров системы.

Целями применения метода в промышленности являются:

- оценка частоты возникновения инцидентов (или надежность оборудования);
- определение комбинаций отказов оборудования, рабочих условий, условий окружающей среды и человеческих ошибок, которые повлияли на инцидент;
- идентификация корректирующих воздействий для улучшения надежности и безопасности и определения их влияния.

Дерево отказов – это графическое представление связей между отказами оборудования и аварийными ситуациями.

Можно выделить **четыре класса причин** возникновения аварийных ситуаций:

- отказы оборудования;
- отклонения от технологического регламента;
- ошибки производственного персонала;
- внешние причины (стихийные бедствия, диверсии и т.д.).

Одним из достоинств метода является систематическое логически обоснованное построение множества отказов элементов системы, которые могут приводить к аварии.

Метод деревьев отказов используется, в основном, в случаях, когда при отказе системы в целом может быть установлена связь между комбинациями отказов отдельных компонентов системы.

Метод применяется при идентификации требований к дублированию компонентов, к защитным устройствам и контрольным системам.

Основные этапы процесса проведения исследования методом дерева отказов

Проведение исследования методом дерева отказов можно также представить в виде следующих **шагов**:

- Определение границ системы;
- Изучение и понимание системы;
- Определение конечного события;
- Конструирование дерева отказов;
- Качественный анализ;
- Количественный анализ;
- Поиск недостающих данных.

Учебный пример

Целью данного упражнения является закрепление навыков по проведению процедуры исследования опасности методом дерева отказов. Применение метода будет представлено на примере исследования опасности при хранении воспламеняющейся жидкости.

Рассмотрение одного из нежелательных событий может привести к главному событию – **выбросу воспламеняющейся жидкости из бака хранения.**

На примере течи бака проведем исследования ручным методом в виде поэтапной процедуры исследования методом отказов.

Шаг 1 – Выбор и описание системы

- Определение способа функционирования системы;
- Информация о процессе, технических средствах и ошибках операторов.

Необходима информация о свойствах:

- опасностей, связанных с материалами, которые используются в процессе и вне его;
- опасностей, связанных с аппаратурой и определенной структурой процесса и его компонентами (например, выброс токсичного вещества через ошибочно открытый клапан);
- определение физических границ системы.

Выбранные границы системы должны отражать наличие недостаточных данных.

Должна быть указана начальная конфигурация оборудования (необходимо указать, например, какие клапаны открыты, какие закрыты).

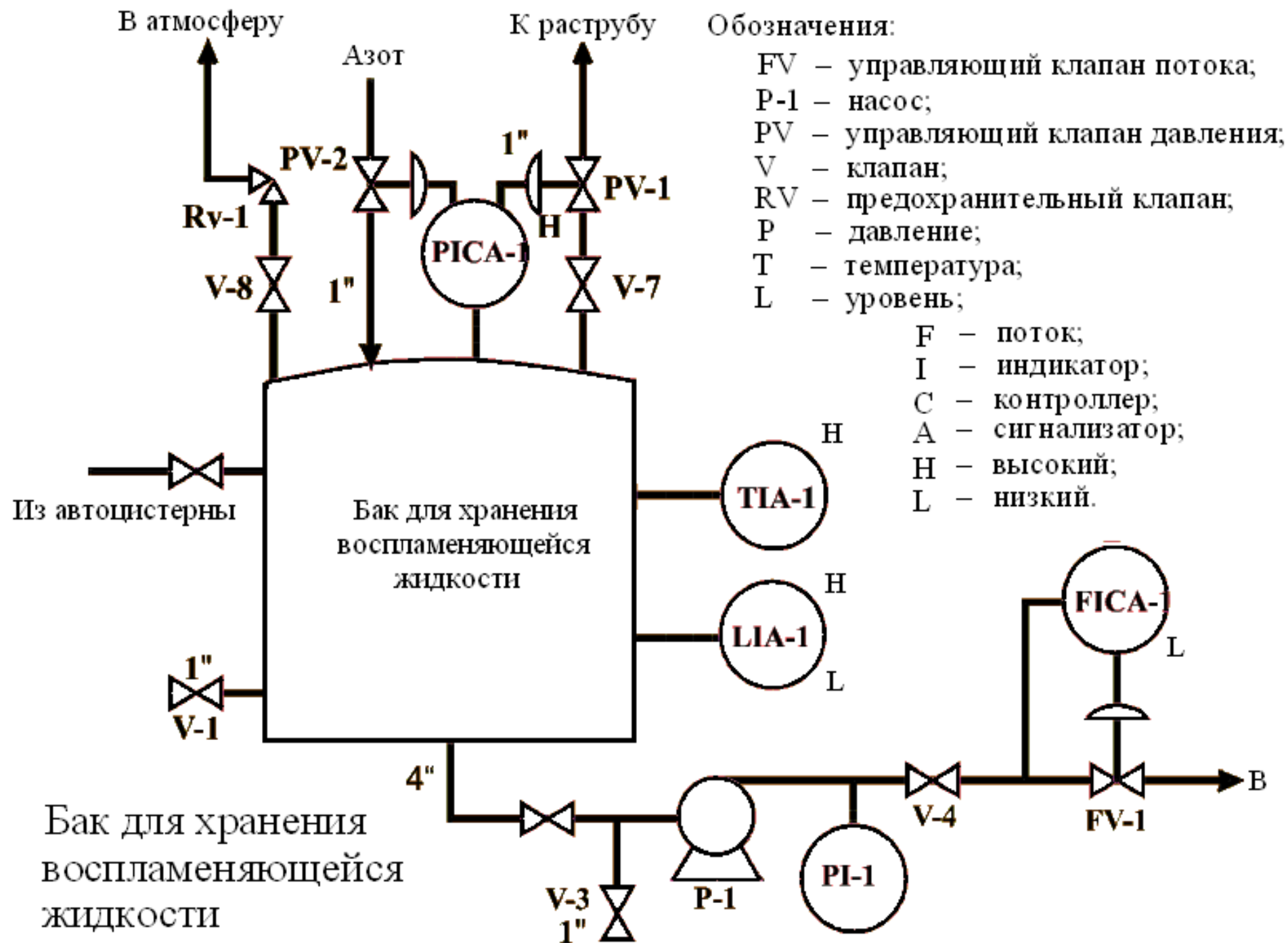
ШАГ 1. Описание системы.

Система хранения воспламеняющейся жидкости в виде диаграммы распределения ресурсов и оборудования (P&ID Process and Instrumentation Diagrams) дана ниже на рисунке, где G.1 – бак для хранения воспламеняющейся жидкости.

Бак спроектирован так, чтобы удерживать воспламеняющуюся жидкость под слабым давлением азота. Система управления (PICA-1) контролирует давление.

Кроме этого, бак защищен с помощью клапана, который перекрывается в аварийных ситуациях.

Жидкость питает бак через автоцистерну. Насос (P-1) перекачивает воспламеняющуюся жидкость для дальнейшей переработки.



Шаг 2 – Исследование системы

Необходимо учесть все события, включая:

- невозможные события;
- возможные события.

Каждый технологический процесс характеризуется некоторым набором переменных процесса, отклонения которых от своих рекомендованных значений могут приводить к непредвиденным результатам, превышению рабочего давления и/или температуры и, как следствие, к повреждению (разрушениям) технологического оборудования.

Находятся контролирующие переменные, изменение которых может привести к отказу блока.

ШАГ 2. Идентификация риска

Метод может быть использован для идентификации главной опасности, такой, как **выброс воспламеняющихся веществ из бака**.

Для нашего случая воспользуемся данными, полученными методом HAZOP.

Шаг 3 - Определение главного события

Требует точности и определенности.

Плохо и неточно определенное конечное событие часто является причиной некорректного анализа.

Часто включает предварительный анализ (например, методы HAZOP или FMEA).

Необходимо четко и ясно определить, что, где и когда случилось.

ШАГ 3. Определение главного события

Принимаем главное событие T – **выброс воспламеняющихся веществ из бака.**

Шаг 4 - Конструирование дерева отказов

Рассматриваемое главное событие изображается на вершине.

При построении дерева логическая схема отталкивается от главного события. Исходная точка – это не причины, приведшие к событию, а оно само. И только задав событие, можно начинать исследование возможных причин его появления.

Ветви дерева представляют собой все пути, по которым событие может реализовываться, а связь между исходными событиями и главным событием осуществляется через логическое условие.

Обычно не существует исходных причин, а существуют первоначальные ошибки или отказы, приводящие к развитию во времени нежелательного события.

Отказы, входящие в структуру дерева отказов, могут быть поделены на три группы:

1. первичные отказы;
2. вторичные отказы;
3. отказы управления.

К первичным отказам относятся отказы оборудования, которые произошли в обычных условиях функционирования оборудования.

Вторичные отказы происходят вследствие изменений условий работы оборудования.

Отказы управления имеют место в случаях, когда нормально функционирующее оборудование не получает по каким-либо причинам управляющих сигналов. Вторичные отказы и отказы управления являются промежуточными событиями и требуют дополнительного анализа.

ШАГ 4. Построение дерева отказов.

Каждое событие помечено соответственно:

В – для базовых или неразвитых событий,

М – для промежуточных событий,

Т – главное (основное) событие.

Процедура начинается с верхнего события **Т** (основное – выброс воспламеняющегося вещества) и определяет возможные события, которые могли привести к этому инциденту.

Главное событие может индуцироваться несколькими исходными, например:

М1: Утечка во время разгрузки автоцистерны.

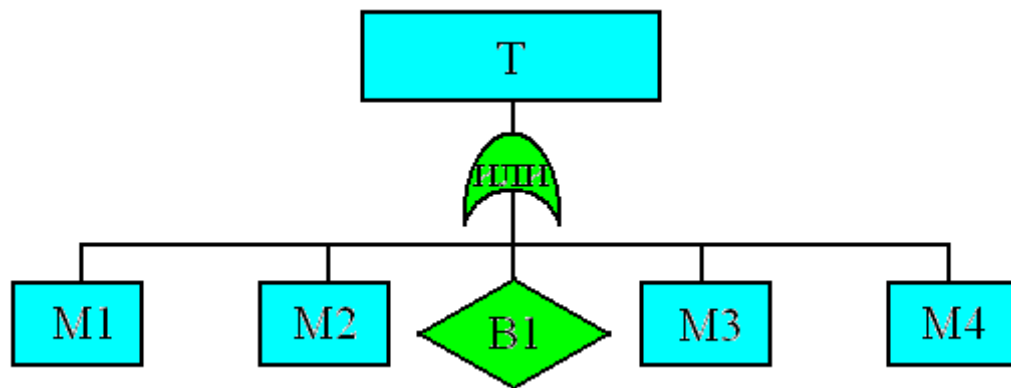
М2: Разрушение бака из-за внешних событий.

В1: Повреждение сливного отверстия бака.

М3: Повреждение бака из-за взрыва.

М4: Повреждение бака из-за избыточного давления.

Причем мы видим, что каждое из этих событий может привести к главному событию.



События М1, М2, М3 и М4 требуют дальнейшего развития.

Для события В1 существует адекватная историческая информация, что позволяет считать его базовым событием. Анализ продвигается вниз на один уровень, пока все механизмы отказов не будут исследованы до соответствующей глубины.

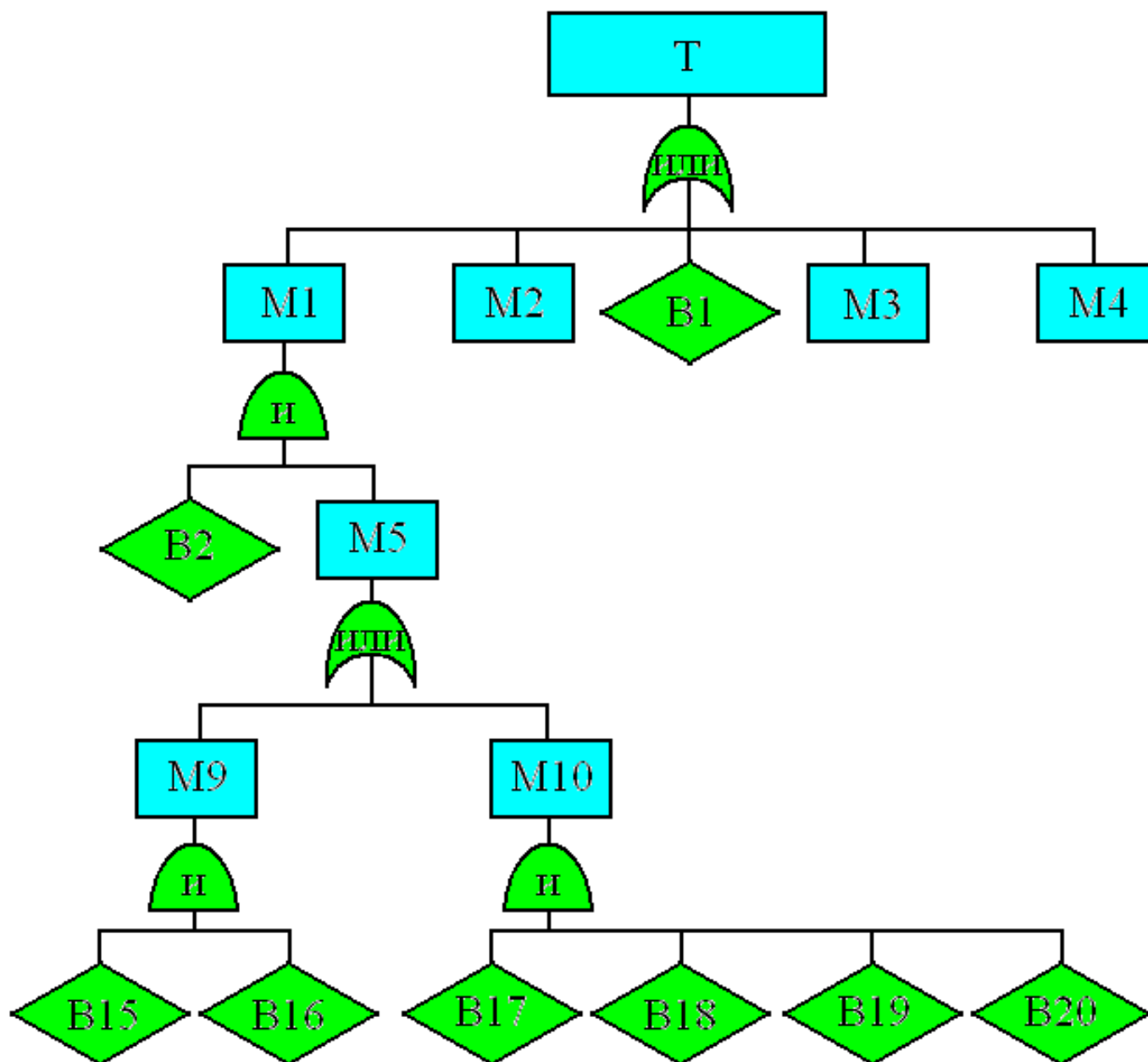
Базовые события и **неразвитые** события обозначены **кругами** и **ромбами** соответственно.

Дальнейшее развитие неразвитых событий не считается необходимым или ВОЗМОЖНЫМ.

В таблице приведены характерные инициирующие события.

Обозначение	Характеристика события	Вероятность (частота) события
B2	Частота разгрузки цистерны	300/год
B3	Воздействие от средства передвижения	$1 \cdot 10^{-5}$ /год
B4	Авиа катастрофа	$1 \cdot 10^{-6}$ /год
B5	Землетрясение	$1 \cdot 10^{-5}$ /год
B6	Торнадо	$1 \cdot 10^{-5}$ /год
M5	Пролив из бака	$1 \cdot 10^{-4}$
M9	Переполнение бака и истечение через RV-1	$1 \cdot 10^{-4}$
M10	Разрыв бака вследствие реакции	$1 \cdot 10^{-7}$
B15	Достаточный объем в баке для разгружаемой цистерны	$1 \cdot 10^{-2}$
B16	Отказ или игнорирование LIA-1	$1 \cdot 10^{-2}$
B17	Недопустимое вещество в цистерне	$1 \cdot 10^{-3}$
B18	Из цистерны перед разгрузкой не взята проба	$1 \cdot 10^{-2}$
B19	Реагент реагирует с разгружаемыми веществами	$1 \cdot 10^{-1}$
B20	Рост давления превосходит пропускную скорость RV-1 и PV-1	$1 \cdot 10^{-1}$

Обозначение	Характеристика события	Вероятность (частота) события
В7	Разгружаемый бак требует очистки азотом	10/год
М6	Индуцируется вакуум	$2 \cdot 10^{-2}$
В8	Кипение недостаточно, чтобы предотвратить вакуум	$1 \cdot 10^{-2}$
В9	PV-2 ошибочно закрыт	$1 \cdot 10^{-2}$
В10	Отказ PISA-1 при закрытии PV-2	$1 \cdot 10^{-2}$
В11	Сбой в подаче азота	$1 \cdot 10^{-4}$
М7	Давление в баке превышено	$1 \cdot 10^{-2}$
М8	Отказ предохранительной системы при повышенном давлении	$2 \cdot 10^{-3}$
В12	Отказ PISA-1 при закрытии PV-1	$1 \cdot 10^{-2}$ /год
М11	Превышено давление в баке	$4 \cdot 10^{-5}$ /год
В13	Повышенная пропускная способность RV-1	$1 \cdot 10^{-3}$
В14	V-8 закрыт	$1 \cdot 10^{-3}$
М12	Высокое давление в баке	$4 \cdot 10^{-3}$ /год
В21	Отказ или игнорирование PISA-1	$1 \cdot 10^{-2}$
В22	PV-1 ошибочно закрыт	$1 \cdot 10^{-3}$ /год
В23	V-7 закрыт	$1 \cdot 10^{-3}$ /год
В24	Температура во входном отверстии выше нормальной	$1 \cdot 10^{-3}$ /год
В25	Высокое давление в оголовке факела	$1 \cdot 10^{-3}$ /год

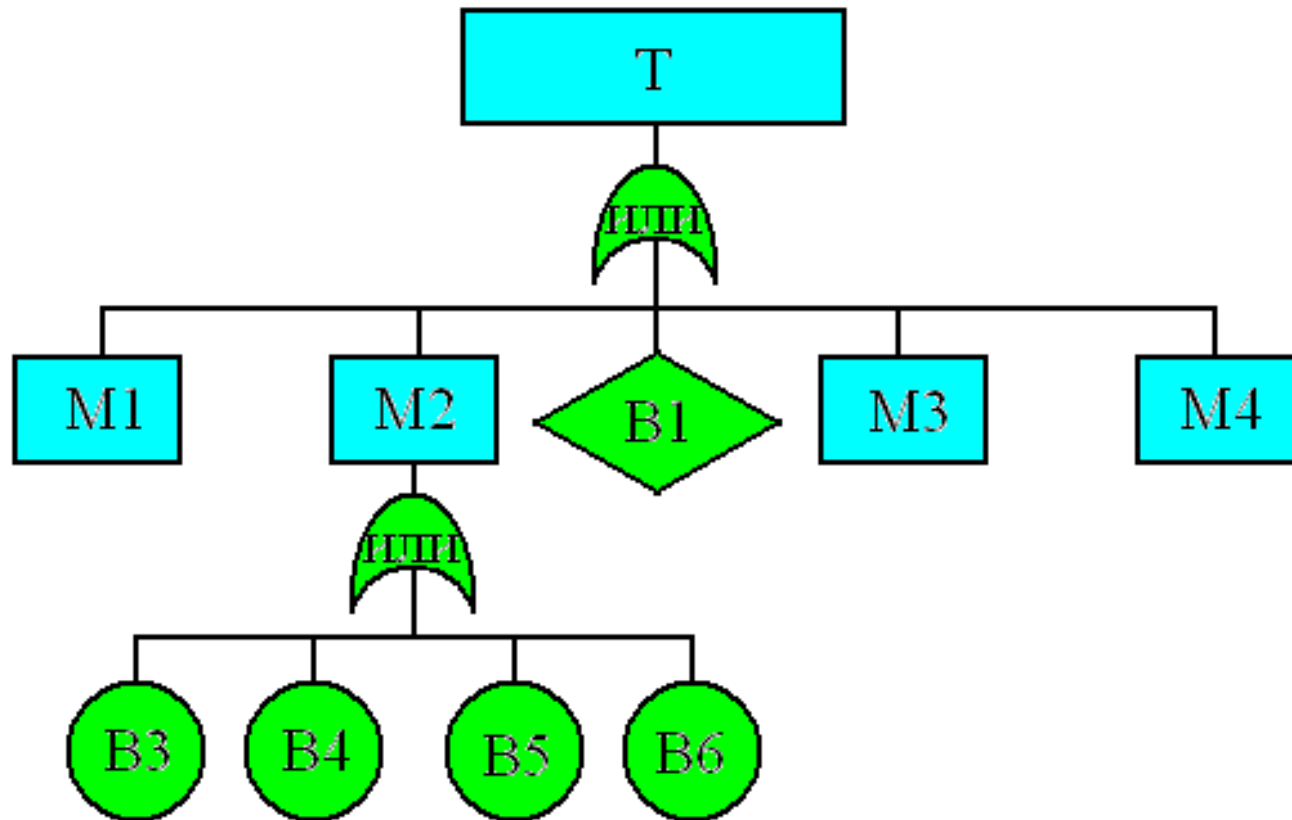


Теперь построим схематичное дерево отказов, оно строится согласно правилам, о которых мы говорили ранее.

Логические условия выбираются исходя из «здравого смысла» работы системы.

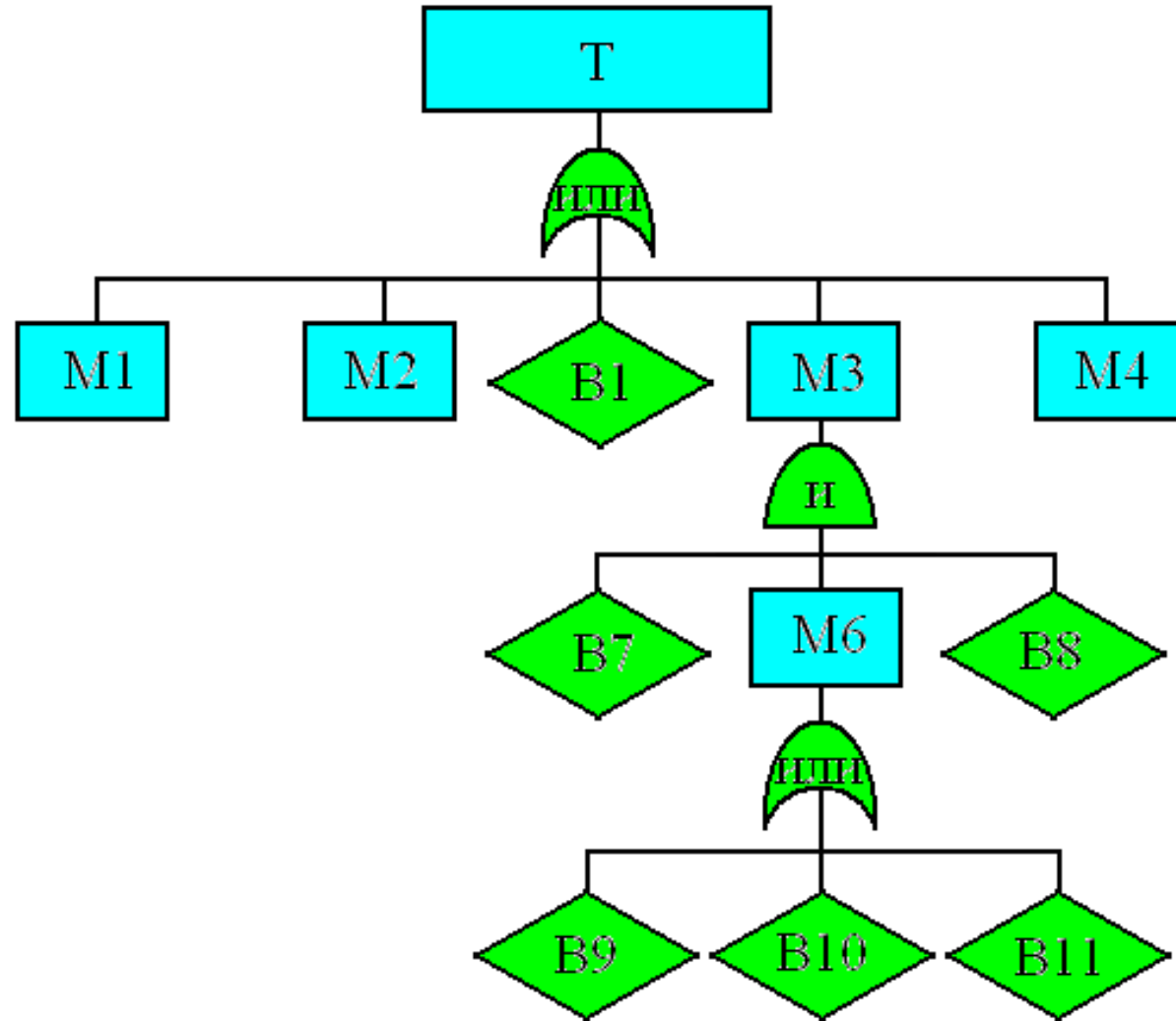
Рассмотрим дальнейшее развитие события M1.

Утечка горючей жидкости во время разгрузки автоцистерны.



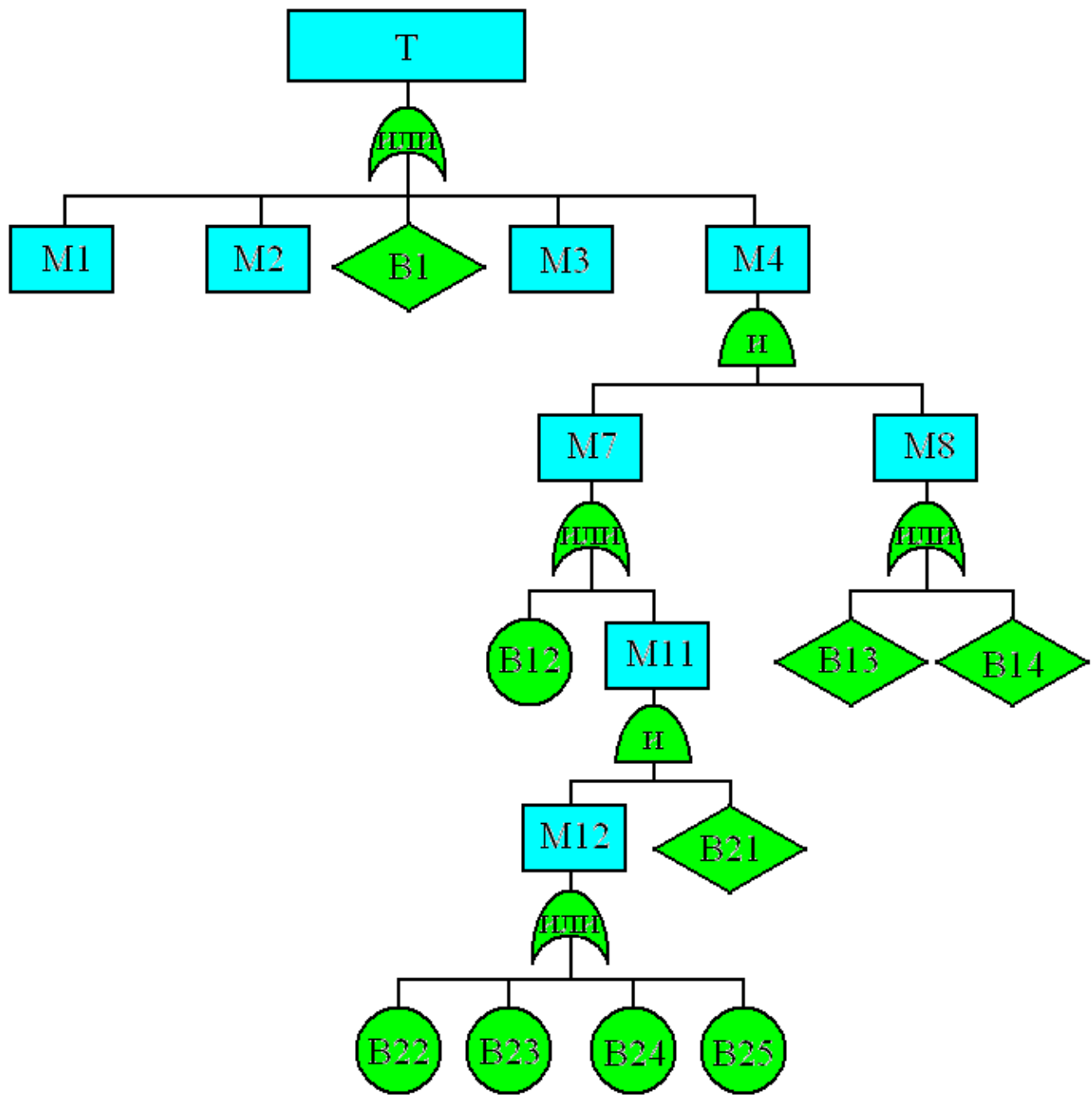
Развитие события M2.

Разрушение бака с горючей жидкостью из-за внешних событий.



Развитие события М3.

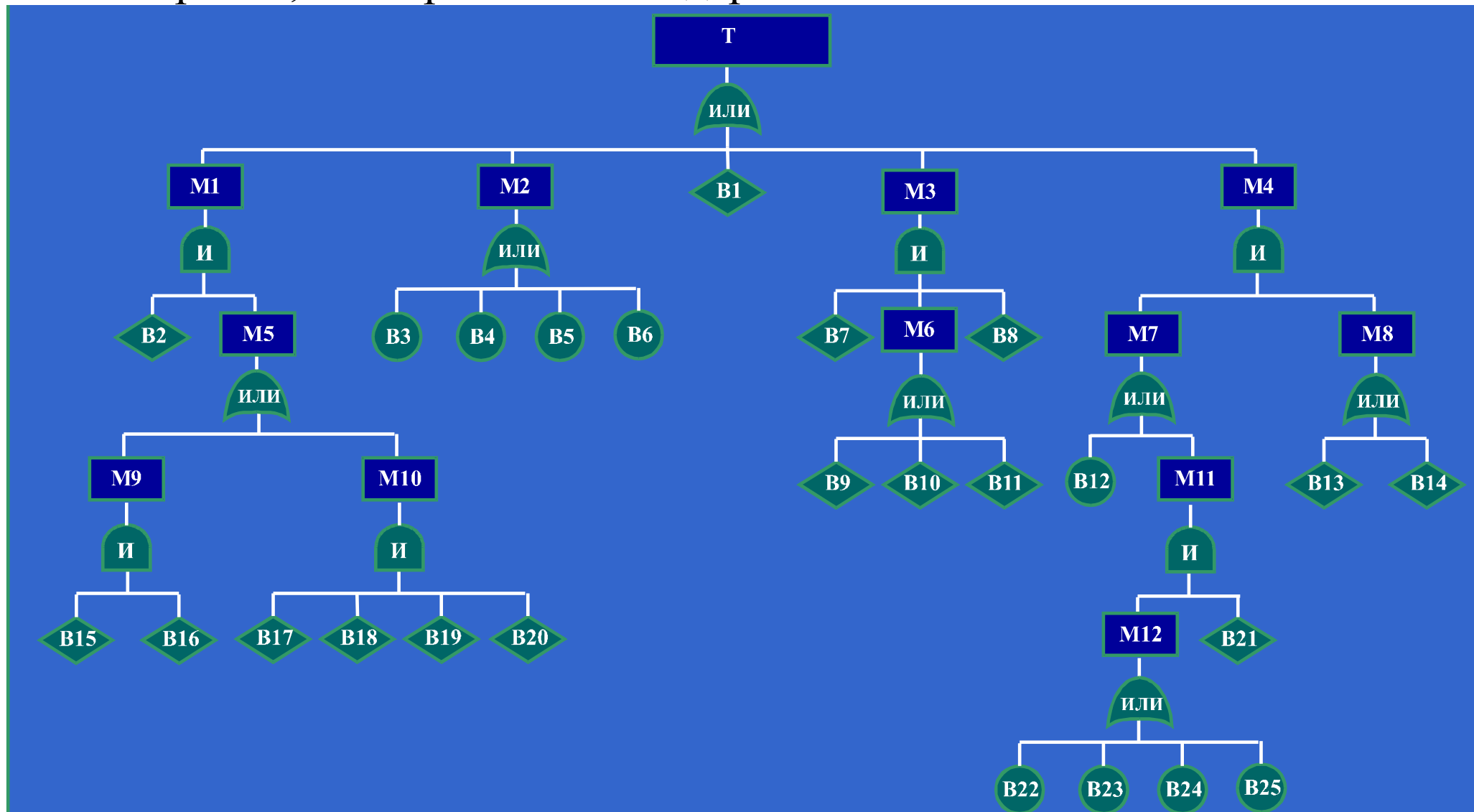
Повреждение бака с горючей жидкостью из-за взрыва.



Развитие события M4.

Повреждение бака с горючей жидкостью из-за избыточного давления.

Таким образом, мы строим полное дерево отказов.



Конечное схематичное дерево отказов выполнено для наглядности через буквенные обозначения в соответствии с таблицей. Однако некоторые наборы промежуточных событий были добавлены для большей ясности анализа.

Шаг 5 - Качественный анализ

Анализ набора минимальных сечений.

Необходимо найти способ определения возможных комбинаций отказов в работе оборудования, которые приводят к возникновению нежелательного события.

Минимальная комбинация ошибок персонала и повреждений оборудования, достаточная для возникновения нежелательного события, – это краткий вариант дерева отказов.

Алгоритм вычисления минимального краткого пути состоит из двух этапов:

- составление таблицы возможных путей;
- составление серии матриц.

ШАГ 5. Качественное исследование структуры

Качественная оценка производится наилучшим образом с помощью анализа минимальных сечений. Однако уже при первом просмотре выявляются 5 основных путей, ведущих к вершине. Например, В1, В3–В6.

На этом шаге исследователь должен просмотреть минимальные сечения, чтобы гарантировать, что все они представляют реальные, возможные происшествия.

Минимальное сечение, которое не ведет к вершине – показатель ошибки построения дерева или ошибки в определении минимального сечения.

Шаг 6 - Количественный анализ

Имея конечную схему дерева отказов и оценочную частоту (вероятность) для каждого базового или неразвивающегося события, можно вычислить частоту главного события или его вероятность.

Расчет чувствителен к цифровым ошибкам в прогнозируемой частоте главного события, если дерево имеет повторяющиеся события в различных ветвях, которые разделены условием «и».

Метод расчета начинается с базовых событий на дереве отказов и продвигается вверх к главному событию. Математическая связь для расчетов приведена в таблице

Таблица. Математическая связь для расчетов

Условие	Входная пара (B), (C)	Вычисление выхода (A)	Время t (год)
«или»	$P_B^* \text{ «или» } P_C$ $F_B^* \text{ «или» } F_C$ $F_B \text{ «или» } P_C$	$P_A = P_B + P_C - P_B P_C \cong P_B + P_C$ $F_A = F_B + F_C$ не разрешено	t^{-1}
«и»	$P_B \text{ «и» } P_C$ $F_B \text{ «и» } F_C$ $F_B \text{ «и» } P_C$	$P_A = P_B \cdot P_C$ не разрешено; преобразуйте к $F_B \text{ «и» } P_C$ $F_A = F_B \cdot P_C$	t^{-1}

*P – вероятность; F – частота (время⁻¹)

Важно помнить, что для условия «и» на входе может быть несколько термов вероятности, или – только одна частота.

Одними из двух важнейших логических значков в деревьях отказов являются значки «И». При использовании таких значков необходимо учитывать:

- (а) выходные данные даются из входных данных в виде отказов в превентивных (защитных) действиях;
- (б) выходные данные даются из входных данных в виде отказов защитных приборов (устройств);
- (в) выходные данные даются из отказов двух приборов (устройств), действующих параллельно;
- (г) выходные данные даются из отказов двух приборов, из которых один работает, а другой выключен.

При конструировании деревьев отказов различия между этими системами не вызывает проблем, но могут возникнуть трудности на стадии оценки.

Как уже было описано, вероятность p_0 , которая является выходным данным значка «И» с двумя входными данными существует, если вероятности входных событий p_1 и p_2 , в виде:

$$p_0 = p_1 p_2$$

Происходит событие или нет, можно описать в терминах частоты или вероятности. Отказ оборудования обычно выражается через частоту и отказ в превентивных действиях или предохранительных приборах – через вероятность.

В защитных приборах, как правило, периодически происходят отказы и поэтому их нужно проверять. Данные по отказам таких приборов могут быть даны как в виде вероятности отказа, так и частоты. Их взаимосвязь можно показать, как:

$$p_0 = f \tau_p / 2 \tag{1}$$

где p – вероятность отказа, f - уровень отказа, а τ_p - интервал тестирования.

Тогда для ситуации (а) частота отказа f_0 :

$$f_0 = f_p \quad (2)$$

где p – вероятность отказа или превентивных действий, f – частота входного события, а f_0 – частота выходного события.

Для ситуации типа (б) уравнение 2 можно также применять, причем вероятность отказа в защитных мерах в данном случае находится по уравнению 1.

Оценка ситуации (в) менее определена. Для этого, можно применять приближенные модели параллельных систем, получаемых или по Маркову или из методов функций добавочной (присоединенной) плотности. Они дают вероятность выходных данных, где события даются в виде частоты входных данных. Когда возможно, применяется приближение для редких событий для перевода вероятности в частоту:

$$f = p/t$$

Подобным образом, для ситуаций (г) можно применять подходящие модели.

Дерево отказов может быть использовано для анализа чувствительности отдельных событий к отклонениям параметров системы.

Анализ значимости ранжирует различные наборы минимальных сечений в порядке вклада в частоту общих системных отказов.

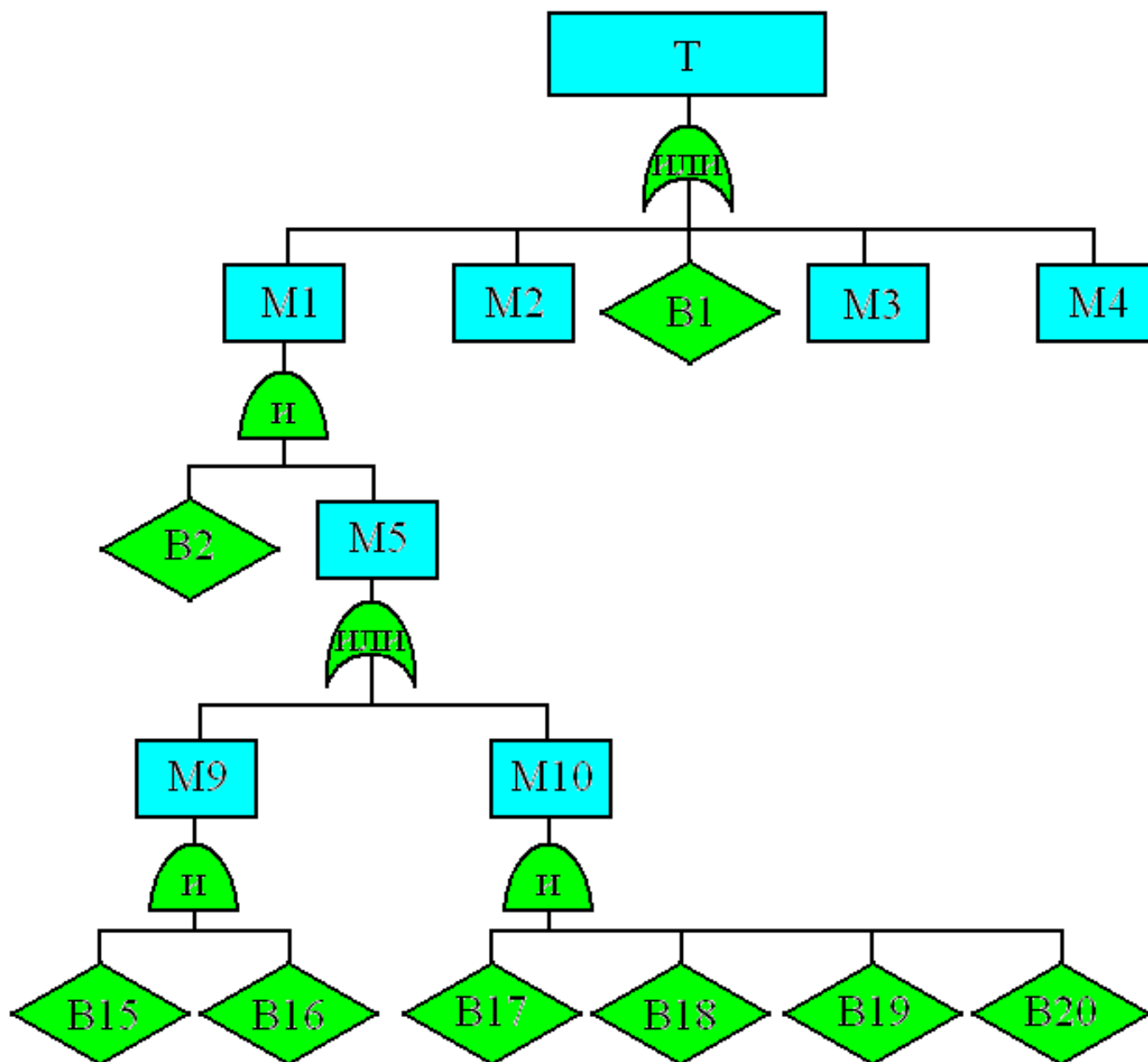
ШАГ 6. Количественная оценка

Для этого предлагается метод анализа «вход – выход». Дерево отказов должно быть внимательно просмотрено на предмет обнаружения повторяющихся событий, которые могут привести к численной ошибке.

Повторяющиеся события отсутствуют.

Исследователь должен ввести численные значения частоты (в год) или вероятность (безразмерную) для каждого базового события.

Расчет начинается с подножия дерева отказов и продолжается в направлении вершины. Ниже представлен расчет для самой левой ветви дерева отказов, поднимающейся к событию M1.



Развитие события M1.

Утечка горючей
жидкости во время
разгрузки автоцистерны.

Событие M9
«Переполнение танка и
истечение через RV-1»
наступает при
одновременном
наступлении B15 и B16,
значит перемножим
вероятности:

$$\begin{aligned}
 P(M9) &= \\
 &= P(B15) \times P(B16) = \\
 &= 1 \cdot 10^{-2} \times 1 \cdot 10^{-2} = 1 \cdot 10^{-4} \\
 &\text{год}^{-1}
 \end{aligned}$$

К М10 ведут через «И» 4 события, заданные их вероятностями:
 $P(M10) = P(B17) \times P(B18) \times P(B19) \times P(B20) = 1 \cdot 10^{-3} \times 1 \cdot 10^{-2} \times 1 \cdot 10^{-1} \times 1 \cdot 10^{-1} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$

М10 и М9 ведут к М5 через логический блок «ИЛИ»:

$$P(M5) = P(M9) + P(M10) = 1 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-7} \approx 1 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$$

События М1 – промежуточное, наступающее при одновременном появлении В2, заданного частотой и М5, заданного вероятностью:

$$F(M1) = F(B2) \times P(M5) = 300 \cdot \text{год}^{-1} \times 1 \cdot 10^{-4} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}$$

Аналогично рассчитываются все другие частоты и вероятности, и рассчитывается частота главного события Т.

Для самопроверки приведем рассчитанные частоты пяти основных промежуточных событий, ведущих к вершинному событию:

$$\begin{array}{lll} M1 & - & 3 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}; \\ M2 & - & 3 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}; \\ M3 & - & 2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}; \\ M4 & - & 2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}. \end{array} \quad B1 - 1 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1};$$

Шаг 7 - Поиск недостающих данных

- Необходимы данные о частоте отказов компонентов, отсутствии защитных систем, частоты ошибок операторов.
- Используемая информация должна быть достоверной.
- При наличии лишь недостаточных данных или их отсутствии требуется инженерное изучение оборудования.
- Требуется информация о внешних событиях.
- Хотя некоторые данные могут быть использованы непосредственно, другие могут быть модифицированы на основе экспертной оценки.

Первичный результат количественной оценки – это частота (или вероятность) верхнего события и более низких промежуточных событий.

Обычно для исследования используются данные по коэффициентам отказов, взятые из открытой литературы, с учетом корректирующих факторов.

Для повышения достоверности оценки вероятностей исходных событий необходимо учитывать прошлый опыт работы соответствующей установки или какой-либо подобной ей на данном предприятии (статистика отказов отдельных элементов).

Методы получения обработки подобной информации хорошо развиты.

ШАГ 7. Поиск недостающих данных

Дерево отказов может быть использовано для анализа чувствительности отдельных событий к отклонениям параметров системы.

Можно провести анализ дерева отказов с целью выдачи рекомендаций, в каких направлениях должны быть приняты меры для снижения риска главного события.

Важно понимать, что решения по изменениям процесса и замене оборудования требуют нового исследования, и только после этого могут стать предположениями.