

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич
Должность: ректор
Дата подписания: 25.09.2022 14:10:37
Уникальный программный ключ:
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ce536f0fc6

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды



КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДЕРЕВЬЕВ ОТКАЗОВ

Методические указания для выполнения
практической работы по дисциплине
«Надёжность технических систем и техногенный риск»
для студентов, обучающихся по направлению
«Техносферная безопасность»

Курск 2017

УДК 658.34:621.3

Составители: В. И. Томаков, М. В. Томаков

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *А.В. Беседин*

Количественная оценка деревьев отказов : методические указания для выполнения практической работы по дисциплине «Надёжность технических систем и техногенный риск» для студентов, обучающихся по направлению «Техносферная безопасность» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В. И. Томаков, М. В. Томаков. – Курск, 2017. – 28 с.

Изучается аналитический метод количественной оценки дерева отказов. Метод используется для расчета вероятности появления завершающего события в дереве отказов на основе знания частот или вероятностей исходных событий.

При выполнении практической работы у обучающихся формируются компетенции: способностью оценивать риск и определять меры по обеспечению безопасности разрабатываемой техники (ПК-3); способностью использовать методы расчетов элементов технологического оборудования по критериям работоспособности и надежности (ПК-4).

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению «Техносферная безопасность» всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 2017 г. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. . Уч. изд. л. . Тираж экз. Заказ 1140. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет
305040, г.Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

1 Общие положения о выполнении практической работы

Цели практической работы:

- изучить методику количественной оценки наступления завершающего события в дереве отказов;
- приобретение теоретических знаний и практических навыков, необходимых для количественной оценки дерева отказов и способности оценивать техногенный риск, определять меры по обеспечению безопасности разрабатываемой техники.

Указания к выполнению практической работы

Законспектируйте содержание основных теоретических положений порядка количественной оценки дерева отказов, основные понятия о случайных событиях, а также необходимые для вычисления теоремы сложения и умножения вероятностей случайных событий.

Выполните задания по вариантам.

Ответьте письменно на вопросы и задания по указанию преподавателя.

Отчет о выполненной работе

1. Конспект, включающий:

- основные теоретические положения и процедуру количественной оценки дерева отказов;
- основные понятия о случайных событиях;
- необходимые для вычисления аналитические выражения из теорем сложения и умножения вероятностей случайных событий.

2. Необходимые схемы и выполненные вычисления по вариантам.

3. Письменные ответы на контрольные вопросы и задания.

Работа должна быть выполнена собственноручно.

Отчет следует предоставить на сброшюрованных листах формата А4 или в отдельной ученической тетради.

Схемы следует выполнять, используя чертежные шаблоны или инструменты.

2 Процедура количественной оценки дерева отказов

Количественная оценка дерева отказов (ДО) необходима для разработки и сопоставления принимаемых решений по обеспечению надежности и безопасности функционирования технической системы.

Количественная оценка дерева отказов осуществляется либо с помощью статистического моделирования, либо аналитическим методом. В настоящей практической работе изучается аналитический метод. В аналитическом методе используются существующие аналитические выражения для определения вероятности наступления головного события P (завершающего события). Этот метод определения вероятности завершающего события P состоит в использовании вероятностей, приписываемых концам ветвей дерева отказов.

Количественная оценка для завершающего события в дереве отказов производится на основании информации о таких количественных показателях надежности, как вероятность отказа, частота или интенсивность отказов. Вначале вычисляют показатели надежности элемента (или используют справочные данные), затем находят критический путь и, наконец, оценивают завершающее событие.

Процедура количественной оценки для завершающего события в дереве отказов:

- представление в графическом виде всего дерева отказов;
- составление перечня отказов и других элементарных событий, приводящих к завершающему событию;
- задание показателей надежности для элементарных событий;
- вычисление требуемых конечных результатов.

Выходной эффект может быть искажен, если при анализе будут использованы ненадежные исходные данные. Поэтому, при проведении анализа надо обладать достаточно надёжной базой исходных событий, хорошим знанием производства, физических процессов, уметь критически оценивать каждое принимаемое значение или допущение, чтобы численные значения вероятности при ветвях дерева были надёжными.

Прежде чем находить количественные показатели надежности, следует упрощать дерево отказов, иначе будет усложнена процедура вычисления или будут получены ошибочные количественные оценки.

3 Вероятностная оценка дерева отказов

3.1 Основные понятия о случайных событиях

Прежде всего, целесообразно остановиться на основных понятиях теории вероятностей применительно к логическим схемам, которыми являются деревья отказов.

Отказы в системах возникают под воздействием разнообразных факторов. Поскольку каждый фактор в свою очередь зависит от многих причин, то отказы элементов, входящих в состав системы, относятся, как правило, к случайным событиям, а время работы до возникновения отказов - к случайным величинам. В инженерной практике возможны и не случайные (детерминированные) отказы (отказы, возникновение которых происходит в определенный момент времени, т.е. в момент возникновения причины (т.е. обусловлены причиной) так как существует однозначная и определенная связь между причиной отказа и моментом его возникновения). Например, если в цепи аппаратов ошибочно поставлен элемент, не способный работать при пиковой нагрузке, то всякий раз, когда возникает эта нагрузка, он обязательно перейдет в состояние отказа. Такие отказы выявляются и устраняются в процессе проверки технической документации и испытаний.

При анализе надежности дерева отказов объектом исследования являются случайные события и величины.

Случайное событие - событие, которое в результате опыта может произойти или не произойти.

Достоверное событие - такое событие, которое непременно должно произойти.

Невозможное событие - такое событие, которое заведомо не может произойти.

Совместные события - такие события, появление одного из которых не исключает возможности появления другого.

Несовместные события - такие события, появление одного из которых исключает возможности появления другого.

Зависимые события - такие события, появление одного из которых влияет на появление другого события.

Независимые события - такие события, появление одного из которых не влияет на появление другого события.

3.2 Теоремы сложения и умножения вероятностей случайных событий

Теорема сложения вероятностей несовместных событий. Вероятность появления одного из двух несовместных событий, безразлично какого, равна сумме вероятностей этих событий:

$$P(A + B) = P(A) + P(B). \quad (1)$$

Следствие. Вероятность появления одного из нескольких попарно несовместных событий, безразлично какого, равна сумме вероятностей этих событий:

$$P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n). \quad (2)$$

Теорема сложения вероятностей совместных событий. Вероятность появления хотя бы одного из двух совместных событий равна сумме вероятностей этих событий без вероятности их совместного появления (**соответствует знак ИЛИ**):

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(AB). \quad (3)$$

Это выражение можно записать как

$$P\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(A_i)). \quad (3.1)$$

Теорема может быть обобщена на любое конечное число совместных событий. Например, для трех совместных событий:

$$P(A + B + C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(AB) - P(AC) - P(BC) + P(ABC). \quad (4)$$

Однако, при числе событий более трех выражение (4) приобретает громоздкую запись и неудобно для вычисления. В этом случае рекомендуется использовать выражение (3.1).

Теорема умножения вероятностей независимых событий. Вероятность совместного появления двух независимых событий равна произведению вероятностей этих событий (**соответствует знак И**):

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B). \quad (5)$$

Следствие. Вероятность появления нескольких событий, независимых в совокупности, равна произведению вероятности этих событий:

$$P(A_1 A_2 \cdot \dots \cdot A_n) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot \dots \cdot P(A_n). \quad (6)$$

Используя теорему умножения вероятностей, данное выражение можно представить:

$$P\left(\bigcap_{i=1}^n A_i\right) = \prod_{i=1}^n P(A_i). \quad (6.1)$$

Теорема умножения вероятностей зависимых, событий. Вероятность совместного появления двух зависимых событий равна произведению одного из них на условную вероятность второго:

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B); P(AB) = P(B) \cdot P_B(A). \quad (7)$$

Следствие. Вероятность совместного появления нескольких зависимых событий равна произведению вероятности одного из них на условные вероятности всех остальных, причем вероятности каждого последующего события вычисляются в предположении, что все предыдущие события уже появились:

$$P(A_1 A_2 A_3 \cdot \dots \cdot A_n) = P(A_1) \cdot P_{A_1}(A_2) \cdot P_{A_1 A_2}(A_3) \cdot \dots \cdot P_{A_1 A_2 \dots A_{n-1}}(A_n) \quad (8)$$

где $P_{A_1 A_2 \dots A_{n-1}}$ - вероятность события A_n , вычисленная в предположении, что события A_1, A_2, \dots, A_{n-1} наступили.

3.3 Аналитическое описание простых схем

Для того, чтобы дерево отказов отвечало своему назначению, в нём используют схемы, показывающие логические связи между отказами элементов системы и завершающим событием. Для представления этих логических схем в математической форме применяются основные законы булевой алгебры.

Схема **ИЛИ** изображается символом \cup или «+». Любой из этих символов показывает объединение событий, связанных со схемой **ИЛИ**.

Описание схемы **ИЛИ** с двумя событиями на входе дано на рисунке 1.

Событие V_0 на выходе схемы **ИЛИ** записывается в булевой алгебре как

$$V_0 = V_1 + V_2,$$

где V_1 и V_2 – события на входе.

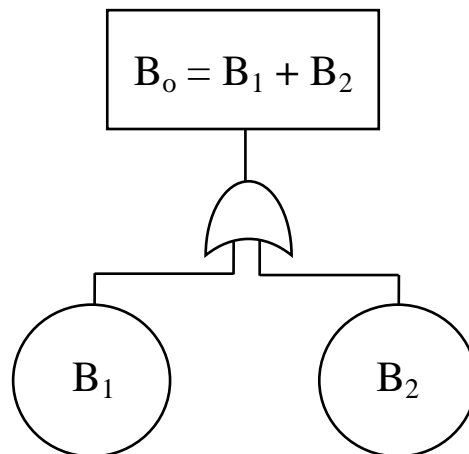


Рисунок 1 - Схема **ИЛИ** с двумя входами

Схема **И** изображается символом \cap или «•». Любой из этих символов показывает пересечение событий, связанных со схемой **И**.

Описание схемы **И** с двумя событиями на входе показано на рисунке 2.

Событие V_0 на выходе схемы **И** записывается в булевой алгебре как

$$V_0 = V_1 \bullet V_2,$$

где V_1 и V_2 - события на входе.

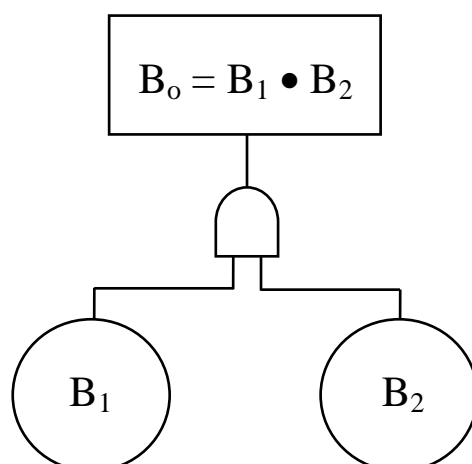
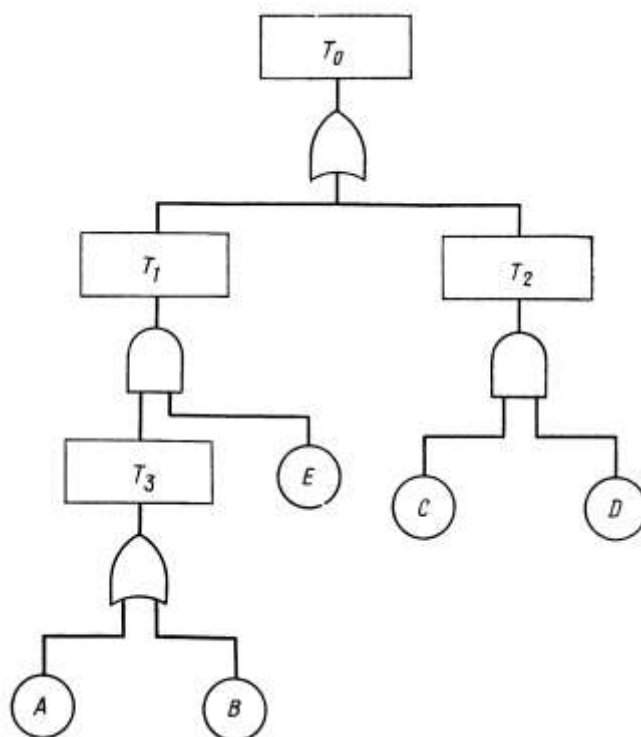


Рисунок 2 - Схема И с двумя входами

Для пояснения вероятностного аспекта работы схемы «ИЛИ» и схемы «И», нахождения вероятности наступления завершающего события рассмотрим примеры.

Пример. Требуется вычислить вероятность появления завершающего события дерева отказов, изображенного на рисунке 3.



A, B, C, D, E - основные (исходные) события;
 T_1, T_2, T_3 - промежуточные события; T_0 - завершающее событие

Рисунок 3 - Дерево отказов

Допустим, что основные (исходные) события A, B, C, D и E статистически независимы и что $P(A)=P(B)=P(C)=P(D)=P(E)=1/4$. В данном случае дерево не содержит повторяющихся элементарных событий, поэтому можно использовать метод определения численного значения вероятности появления завершающего события, который основан на вычислении вероятностей появления промежуточных событий. В данном случае предполагается, что начальные события (отказы) между собой статистически независимы.

Вычисления производим «снизу - вверх», т.е. вначале вычисляем значения промежуточных событий самого нижнего уровня дерева (T_3), затем события вышележащего уровня (T_1) и (T_2), а затем определяем вероятность наступления завершающего события (T_0) - верхний уровень или вершина графа.

Используя правило сложения вероятностей совместных событий (3) и правило умножения вероятностей независимых событий (5), получаем следующие количественные результаты для вероятностей появления промежуточных событий и завершающего события:

$$P(T_3) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B) = 1/4 + 1/4 - 1/16 = 7/16,$$

$$P(T_2) = P(C) \cdot P(D) = 1/4 \cdot 1/4 = 1/16,$$

$$P(T_1) = P(T_3) \cdot P(E) = 7/16 \cdot 1/4 = 7/64,$$

$$P(T_0) = P(T_1) + P(T_2) - P(T_1) \cdot P(T_2) = 7/64 + 1/16 - 7/64 \cdot 1/16 = 169/1024.$$

Ответ: вероятность появления завершающего события $P(T_0)$ равна $169/1024$.

4 Практическая часть

Задание 1. Решите задачу по вариантам (таблица 1), для дерева отказов из разобранного примера (рисунок 3), применив метод, рассмотренный в этом примере.

Таблица 1 - Варианты значений исходных событий

Индекс события	Значения исходных событий по вариантам (номер по списку группы)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>A</i>	0,1	0,2	0,05	0,3	0,06	0,09	0,09	0,25	0,2	0,1
<i>B</i>	0,2	0,3	0,15	0,05	0,2	0,02	0,1	0,05	0,02	0,02
<i>C</i>	0,03	0,09	0,08	0,2	0,025	0,15	0,025	0,15	0,25	0,1
<i>D</i>	0,25	0,25	0,25	0,15	0,25	0,3	0,1	0,25	0,15	0,3
<i>E</i>	0,05	0,04	0,03	0,3	0,05	0,2	0,08	0,07	0,1	0,2

Задание 2. Решите задачу по вариантам (таблица 1), для дерева отказов, приведенного на рисунке 4, применив метод, рассмотренный в примере.

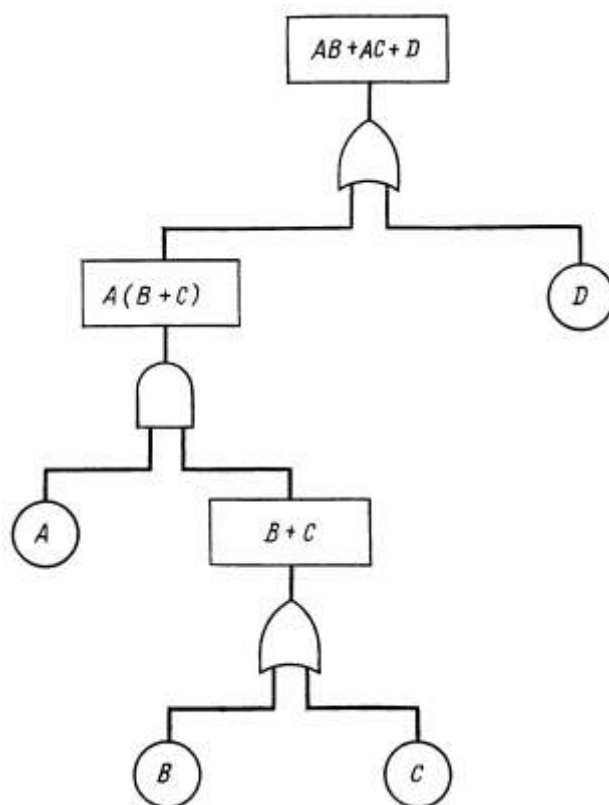


Рисунок 4 - Дерево отказов для задания 2

Задание 3. Требуется вычислить вероятность появления завершающего события дерева отказов, изображенного на рисунке 5.

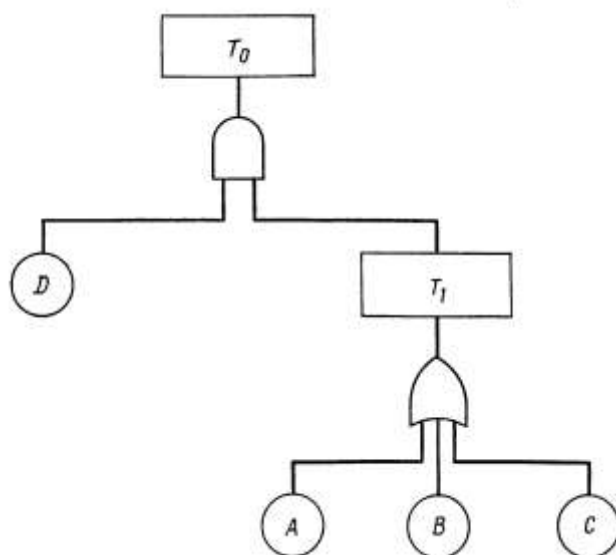


Рисунок 5 - Дерево отказов для задания 3

Так же, как в ранее рассмотренном примере, основные (исходные) события A, B, C, D статистически независимы. Вероятности исходных событий составляют: $P(A) = P(B) = P(C) = P(D) = 0,05$.

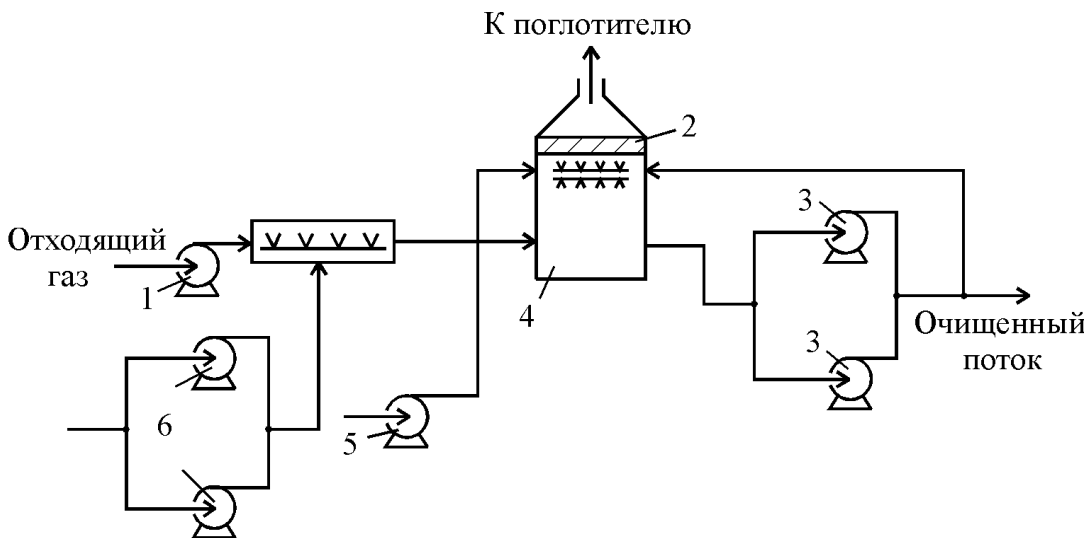
Вычисление производите по двум вариантам.

1. Для вычисления знака **ИЛИ** используйте (3), а для вычисления **И** используйте (6).

2. Для вычисления знака **ИЛИ** используйте (3.1), а для вычисления **И** используйте (6.1).

Сравните результаты и вычислите расхождение.

Задание 4. На рисунке 6 приведена схема системы охлаждения и очистки отработавшего газа.



- 1 - нагнетательный вентилятор (C); 2 - сетчатая прокладка;
 3 - два циркуляционных насоса предварительной очистки газа (F, G),
 работающие по принципу резервирования;
 4 - предварительный газоочиститель (H); 5 - водяной насос (E);
 6 - два охлаждающих насоса (A, B),
 работающие по принципу резервирования

Рисунок 6 - Система охлаждения и очистки отходящего газа

Соответствующее дерево отказов приведено на рисунке 7. Требуется вычислить вероятность появления завершающего события дерева отказов, изображенного на этом рисунке по вариантам (таблица 2).

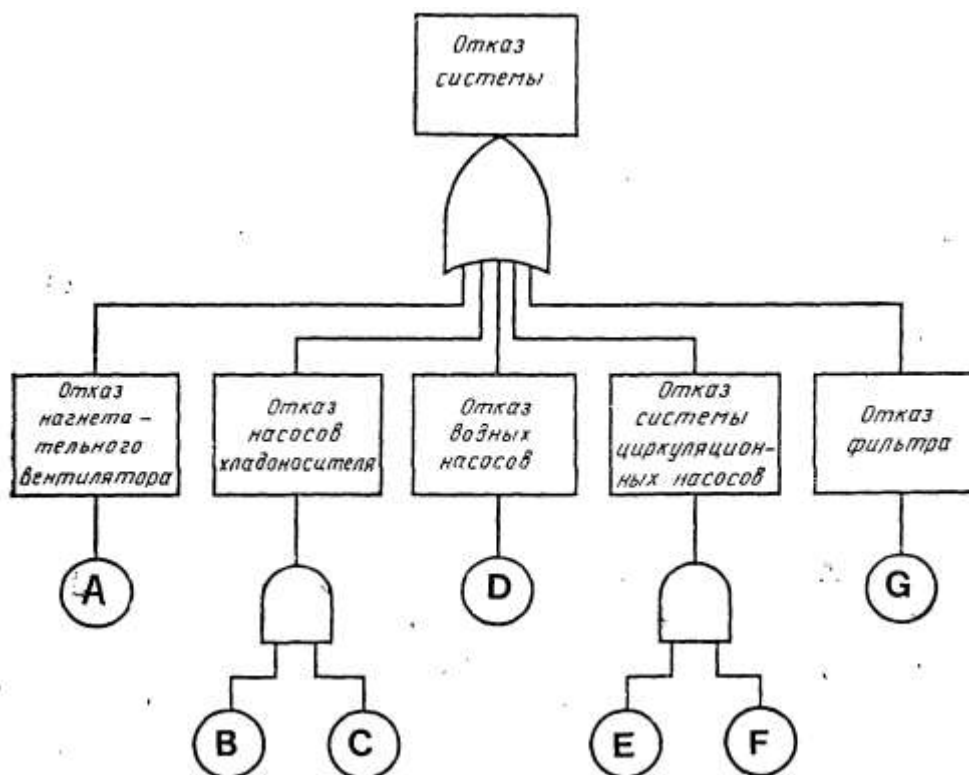


Рисунок 7 - Дерево отказов системы охлаждения и очистки отходящего газа с исходными событиями (*A, B, C, D, E, F, G*)

Таблица 2 - Варианты значений исходных событий для задания 4

Индекс события	Значения исходных событий по вариантам (номер по списку группы)									
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
<i>A</i>	0,1	0,2	0,05	0,03	0,06	0,09	0,09	0,25	0,02	0,1
<i>B</i>	0,2	0,3	0,15	0,05	0,2	0,2	0,1	0,05	0,2	0,2
<i>C</i>	0,3	0,09	0,08	0,2	0,25	0,15	0,25	0,15	0,05	0,1
<i>D</i>	0,05	0,025	0,2	0,15	0,15	0,1	0,1	0,05	0,15	0,03
<i>E</i>	0,05	0,04	0,03	0,3	0,05	0,2	0,08	0,07	0,1	0,2
<i>F</i>	0,15	0,25	0,15	0,25	0,1	0,2	0,3	0,15	0,05	0,25
<i>G</i>	0,03	0,09	0,08	0,02	0,025	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05

Задание 5. Система химического реактора представлена в виде структурной схемы на рисунке 8, а дерево отказов - на рисунке 9.

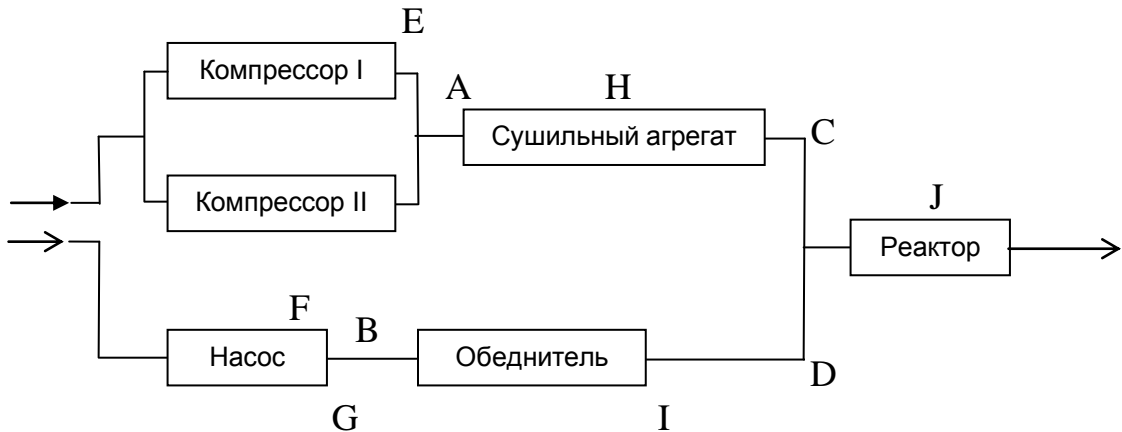


Рисунок 8 - Структурная схема химического реактора

На схеме показаны состояния: A - подача от компрессора к сушильному агрегату; B - подача от насоса к обеднителю; C - подача от сушильного агрегата к реактору; D - подача от обеднителя к реактору; E - внутреннее состояние компрессора I; F - внутреннее состояние компрессора II; G - внутреннее состояние насоса; H - внутреннее состояние сушильного агрегата; I - внутреннее состояние обеднителя; J - внутреннее состояние реактора.

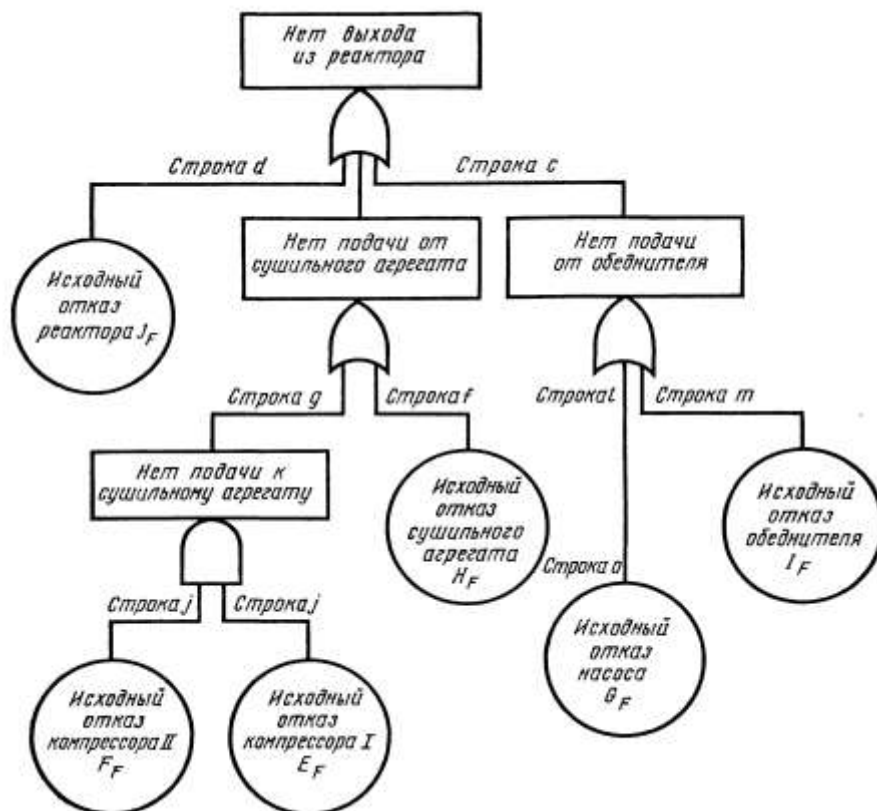


Рисунок 9 - Дерево отказов для химического реактора

Требуется вычислить вероятность появления завершающего события дерева отказов, изображенного на этом рисунке по вариантам (таблица 3). Присвойте индексы промежуточным и завершающему событиям.

Таблица 3 - Варианты значений исходных событий для задания 5

Индекс события	Значения исходных событий по вариантам (номер по списку группы)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J_F	0,03	0,09	0,08	0,02	0,025	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05
E_F	0,2	0,3	0,15	0,05	0,2	0,2	0,1	0,05	0,2	0,2
F_F	0,3	0,09	0,08	0,2	0,25	0,15	0,25	0,15	0,25	0,1
H_F	0,25	0,25	0,25	0,15	0,25	0,3	0,1	0,25	0,15	0,3
G_F	0,05	0,04	0,03	0,3	0,05	0,2	0,08	0,07	0,1	0,02
I_F	0,05	0,05	0,05	0,05	0,01	0,02	0,03	0,015	0,05	0,025

Задание 6. Дерево отказов, показанное на рисунке 10, относится к системе выбора, которая вырабатывает выходной сигнал, если более чем m элементов вырабатывают командный сигнал. Обычно система выбора типа « m из n » находит применение в системах безопасности, где желательно избежать дорогостоящих остановок, вызываемых ложными сигналами от предохранительного контрольного прибора. Выключение системы происходит, когда *два из трех* предохранительных контрольных приборов вырабатывают сигналы на выключение. Итоговое дерево отказов показано на рисунке 11, оно является частным случаем дерева, изображенного на рисунке 10.

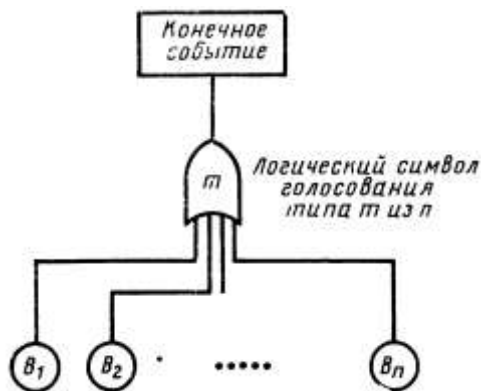


Рисунок 10 - Система выбора типа « m из n »

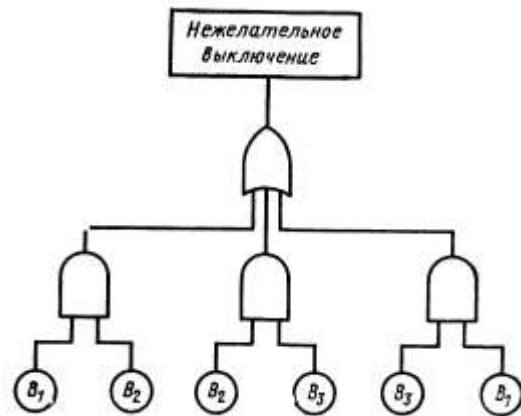


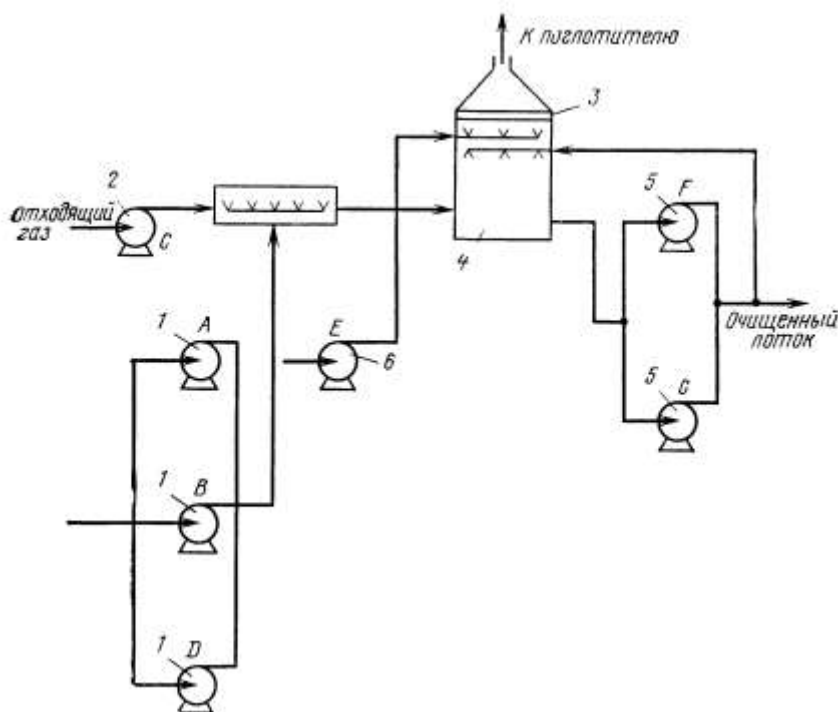
Рисунок 11 - Дерево отказов системы выключения типа «два из трех» (B_i - ложный сигнал от прибора i)

Требуется вычислить вероятность появления завершающего события ДО, изображенного на рисунке 11 по вариантам (таблица 4).

Таблица 4 - Варианты значений исходных событий для задания 6

Индекс события	Значения исходных событий по вариантам (номер по списку группы)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B_1	0,3	0,09	0,08	0,2	0,25	0,05	0,04	0,03	0,3	0,05
B_2	0,2	0,3	0,15	0,05	0,2	0,2	0,1	0,05	0,2	0,2
B_3	0,3	0,09	0,08	0,2	0,25	0,15	0,25	0,15	0,25	0,1
Индекс события	Значения исходных событий по вариантам (номер по списку группы)									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
B_1	0,25	0,25	0,25	0,15	0,25	0,3	0,1	0,25	0,15	0,3
B_2	0,05	0,04	0,03	0,3	0,05	0,2	0,08	0,07	0,1	0,2
B_3	0,15	0,25	0,15	0,25	0,1	0,2	0,3	0,15	0,05	0,25

Задание 7. На рисунке 12 приведена схема системы охлаждения и очистки отработавшего газа в которой для повышения надёжности имеется резервирование с двумя элементами - насосами (1), построенное по типу «два из трех». Дерево отказов для этой системы приведено на рисунке 13.



1 - охлаждающие насосы; 2 - вспомогательный вентилятор; 3 - сетчатый фильтр; 4 - предварительный газоочиститель; 5 - два циркуляционных насоса предварительного газоочистителя; 6 - питательный (водяной) насос

Рисунок 12 - Система охлаждения и очистки отработавшего газа с охлаждающими насосами, построенная по принципу «два из трех»

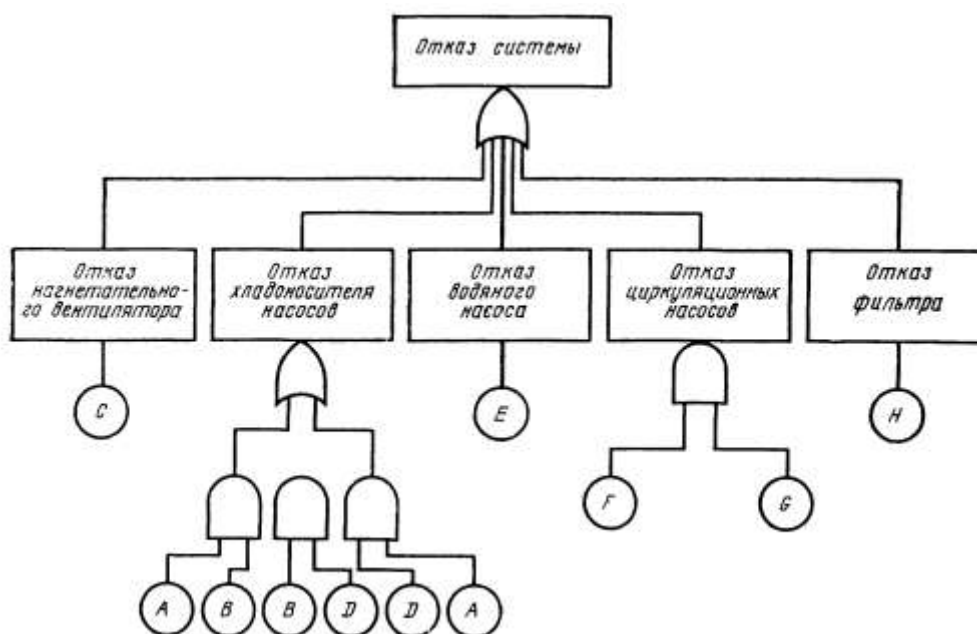


Рисунок 13 - Дерево отказов для системы охлаждения и очистки отработавшего газа

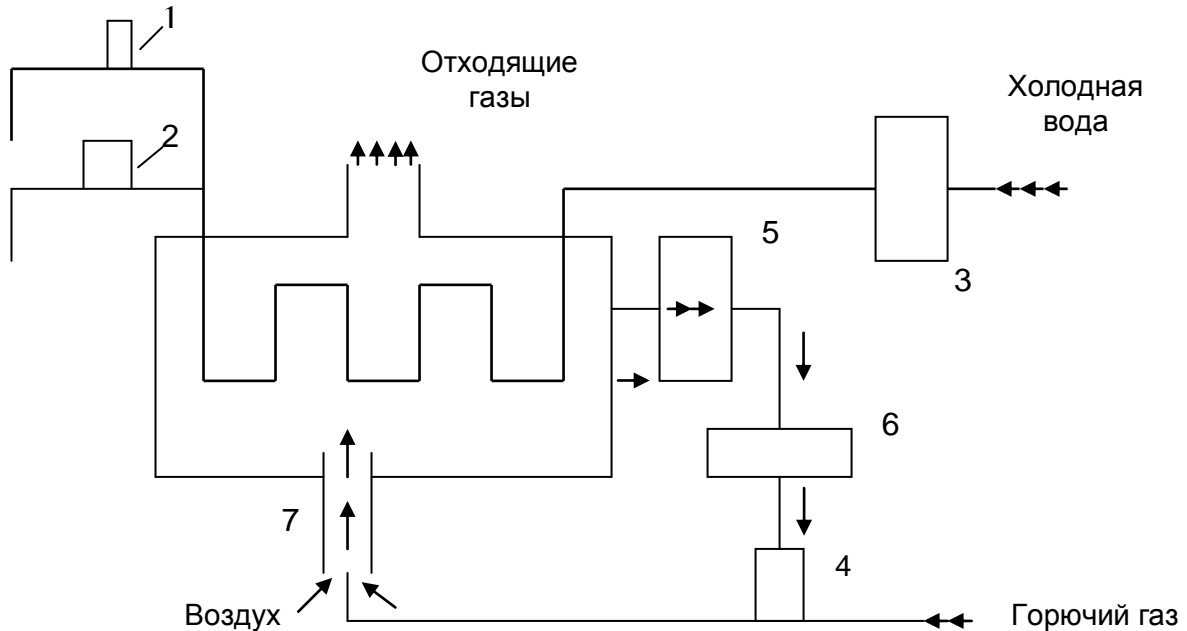
Требуется вычислить вероятность появления завершающего события дерева отказов по вариантам (таблица 5).

Таблица 5 - Варианты значений исходных событий для задания 7

Индекс события	Значения исходных событий по вариантам (номер по списку группы)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0,02	0,03	0,05	0,05	0,02	0,02	0,01	0,05	0,02	0,02
B	0,2	0,3	0,15	0,05	0,2	0,2	0,1	0,05	0,2	0,2
D	0,02	0,03	0,05	0,05	0,02	0,02	0,01	0,05	0,02	0,02
E	0,07	0,09	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05	0,15	0,05	0,1
F	0,25	0,25	0,25	0,15	0,25	0,3	0,1	0,25	0,15	0,3
H	0,05	0,04	0,03	0,3	0,05	0,2	0,08	0,07	0,1	0,2
G	0,15	0,25	0,15	0,25	0,1	0,2	0,3	0,15	0,05	0,25
C	0,25	0,25	0,25	0,15	0,25	0,3	0,1	0,25	0,15	0,3
Индекс события	Значения исходных событий по вариантам (номер по списку группы)									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	0,25	0,25	0,25	0,15	0,25	0,3	0,1	0,25	0,15	0,3
B	0,25	0,25	0,25	0,15	0,25	0,3	0,1	0,25	0,15	0,3
D	0,25	0,25	0,25	0,15	0,25	0,3	0,1	0,25	0,15	0,3
E	0,05	0,04	0,03	0,3	0,05	0,2	0,08	0,07	0,1	0,2
F	0,15	0,25	0,15	0,25	0,1	0,2	0,3	0,15	0,05	0,25
H	0,02	0,03	0,05	0,05	0,02	0,02	0,01	0,05	0,02	0,02
G	0,08	0,2	0,25	0,04	0,03	0,2	0,1	0,05	0,2	0,2
C	0,03	0,015	0,05	0,025	0,015	0,025	0,02	0,02	0,01	0,09

Для упрощения расчетов принято допущение, что одновременно в ремонте может находиться только один насос, и что каждый насос имеет одинаковую вероятность отказа, когда работает и когда находится в резерве.

Задание 8. На рисунке 14 показана схема газового нагревателя воды. Найти вероятность завершающего события для дерева отказов, представленного на рисунке 15.



- 1- кран горячей воды (нормально закрыт);
 2 - предохранительный клапан; 3 - обратный клапан;
 4 - газовый (запорный) клапан; 5 - устройство измерения и сравнения температуры; 6 - устройство управления; 7-газовая горелка

Рисунок 14 - Схема газового нагревателя воды

Газовый клапан 4 включается прибором (устройством управления) 6, который, в свою очередь, управляется с помощью датчика температуры и сравнивающего устройства 5. Газовый клапан управляет главной горелкой 7 в двух режимах: полностью включенном и полностью выключенном (перекрыта подача газа). Обратный клапан 3 на входном трубопроводе холодной воды препятствует обратному потоку при превышении давления в системе горячей воды, а предохранительный клапан 2 открывается, если давление в нагревателе превышает 70 Па. Регулирование температуры осуществляется с помощью прибора 6, который открывает и закрывает главный газовый клапан 4 при выходе температуры за установленные пределы (от 60 до 82 °С).

5 Дополнительные задания для студентов, пропускающих аудиторные занятия

Задание 9. На рисунке 16 представлено дерево отказов с конечным событием «отказ запуска электродвигателя» для схемы, приведенной на рисунке 17. Следует количественно оценить вероятность наступления завершающего события, используя данные таблицы 6.

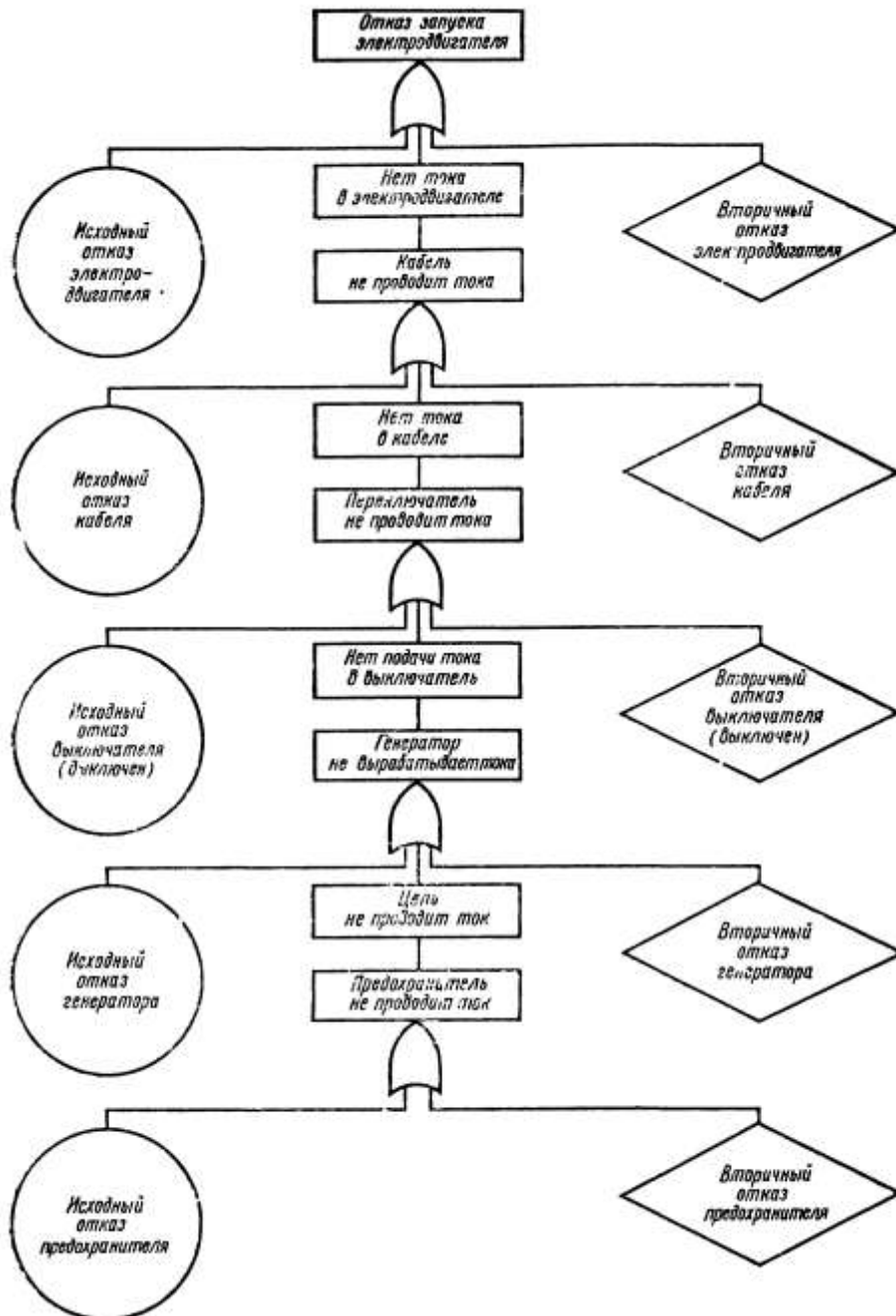
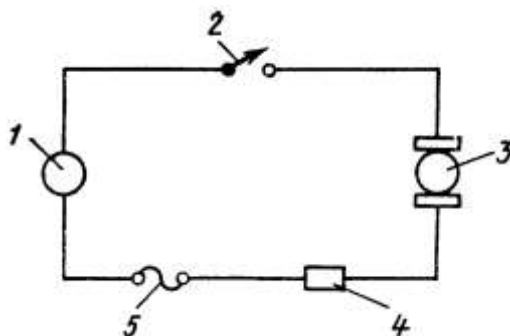


Рисунок 16 - Дерево отказов с конечным событием «отказ запуска электродвигателя»



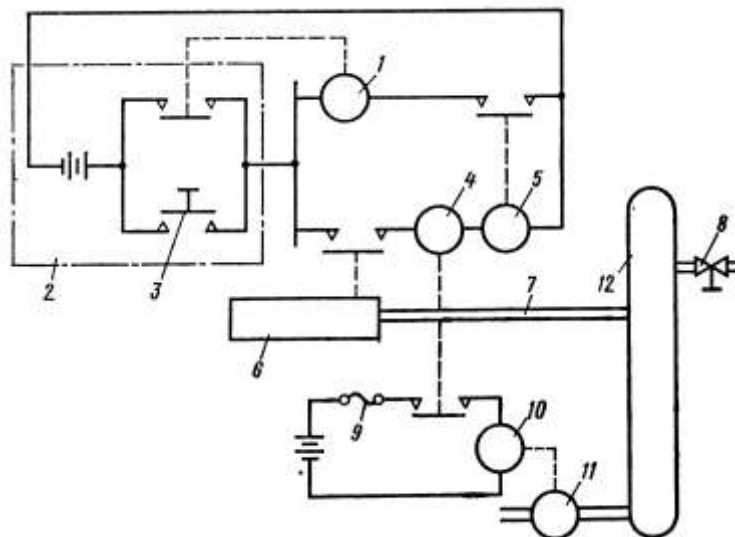
1 - генератор; 2 - переключатель; 3 - электродвигатель; 4 - кабель;
5 - предохранитель

Рисунок 17 - Электрическая схема системы
«генератор - электродвигатель»

Таблица 6 - Варианты значений исходных событий

Наименование исходного отказа	Значения исходных событий по вариантам (номер по списку группы)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Исходный отказ электродвигателя</i>	0,01	0,02	0,05	0,03	0,06	0,09	0,09	0,05	0,02	0,1
<i>Вторичный отказ электродвигателя</i>	0,01	0,02	0,05	0,03	0,06	0,09	0,09	0,05	0,02	0,01
<i>Исходный отказ кабеля</i>	0,02	0,03	0,15	0,05	0,02	0,02	0,01	0,05	0,02	0,02
<i>Вторичный отказ кабеля</i>	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05	0,02	0,08	0,07	0,01	0,02
<i>Исходный отказ выключателя</i>	0,05	0,05	0,15	0,15	0,05	0,03	0,01	0,05	0,05	0,03
<i>Вторичный отказ выключателя</i>	0,03	0,09	0,05	0,02	0,05	0,15	0,05	0,04	0,05	0,01
<i>Исходный отказ генератора</i>	0,05	0,05	0,15	0,15	0,25	0,03	0,01	0,04	0,05	0,03
<i>Вторичный отказ генератора</i>	0,05	0,04	0,03	0,07	0,05	0,02	0,08	0,07	0,01	0,02
<i>Исходный отказ предохранителя</i>	0,15	0,25	0,15	0,15	0,01	0,02	0,03	0,15	0,05	0,05
<i>Вторичный отказ предохранителя</i>	0,05	0,2	0,08	0,05	0,15	0,03	0,06	0,09	0,09	0,01

Задание 10. Необходимо вычислить вероятность развития опасной ситуации (конечного события), связанной с разгерметизацией системы перекачки лёгких нефтепродуктов на нефтебазе. Для этого рассмотрим систему перекачки, продемонстрированную на рисунке 18 и соответствующее дерево отказов, показанное на рисунке 19.



1 - реле К1; 2 - цепь В; 3 - переключатель взведения S1; 4- реле К2; Д - реле времени; 6 - датчик давления; 7 - линия измерения давления; 8 - выпускной клапан; 9 - предохранитель; 10 - электродвигатель насоса; 11 - насос; 12 – резервуар под давлением

Рисунок 18 - Принципиальная схема системы перекачки

На схеме показаны взаимосвязи элементов, которые поясняются следующим техническим описанием. В рабочем режиме для пуска системы перекачки переключатель взведения S1 включается и затем сразу же выключается. Электрический ток возбуждает обмотки К1 и К2; контакты реле К1 замыкаются, и цепь ставится на самоблокировку, при этом контакты К2 замыкаются и запускают электродвигатель насоса. В режиме выключения контакты датчика давления должны разомкнуться приблизительно через 20 с (в результате срабатывания датчика при избыточном давлении) и выключить цепь управления, снимая питание с обмотки К2, размыкая контакты К2 и выключая таким образом электродвигатель. Если возникает зависание контактов датчика давления (аварийный режим выключения), контакты реле времени должны разомкнуться через 60 с, снимая питание с обмотки реле К1, которое, в свою очередь, обесточивает обмотку реле К2, вы-

ключая насос. Предполагается, что реле времени взводится автоматически при каждой операции, что насос работает нормально и что бак опорожняется после каждого цикла.

Для системы перекачки имеем следующее последовательности: контакты датчика давления не размыкаются → отказ реле времени → превышение давления → разрыв бака.

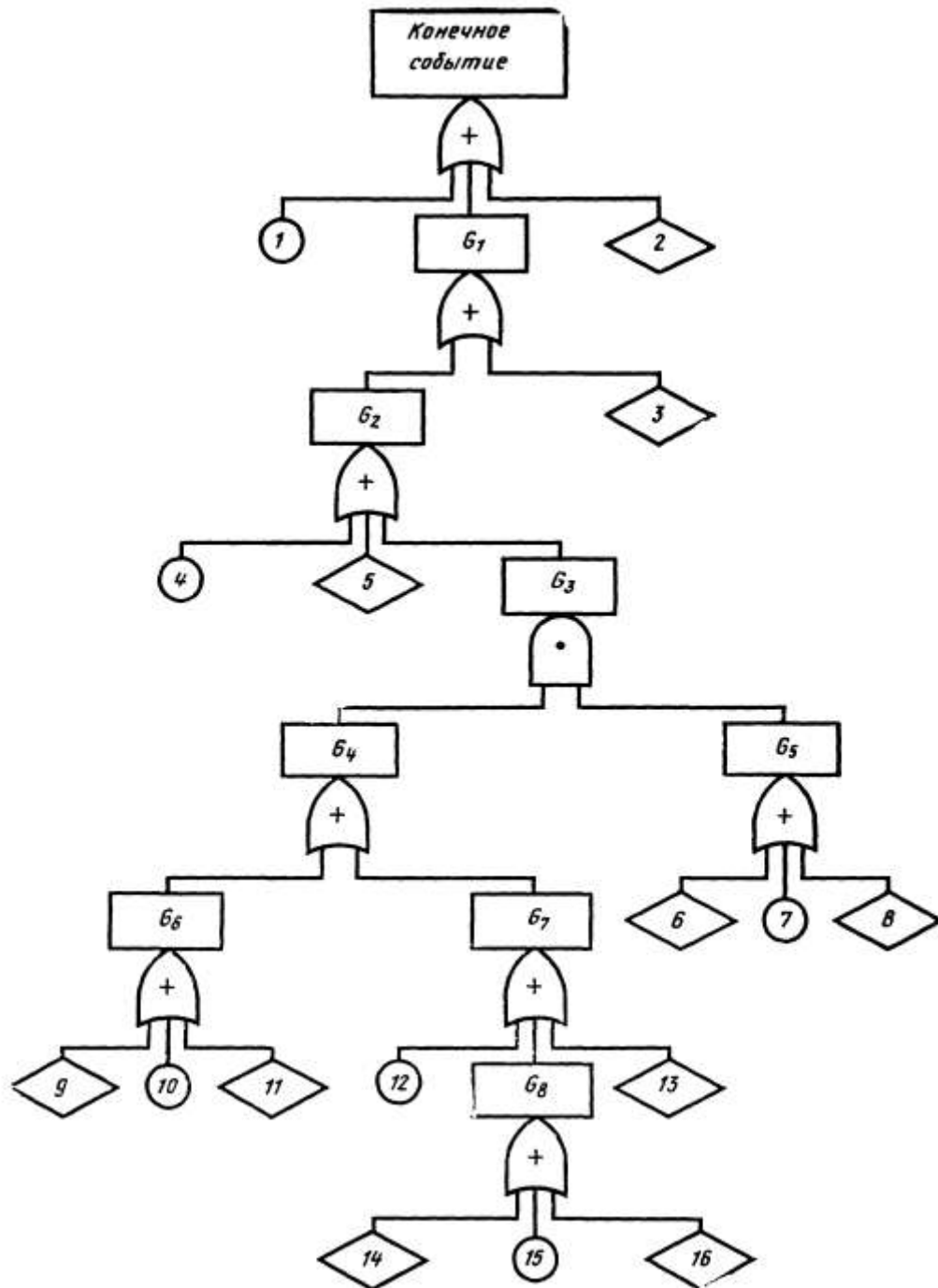


Рисунок 19 - Дерево отказов для системы перекачки с индексами событий

Выбрав определенные пределы воздействия внешних условий, можно детально проследить дальнейшее развитие этих опасных ситуаций в технической системе (техногенного риска) и в окружающей среде. Примерами являются: *взрыв; потеря капитального оборудования; жертвы; ранения; прекращение производства.*

Перечень исходных событий дерева отказов системы перекачки приведен в таблице 7, а их численные значения - в таблице 8.

Таблица 7 - Перечень исходных событий для дерева отказов системы перекачки

Исходное событие	Описание исходного события
1	Отказ бака высокого давления
2	Вторичный отказ бака высокого давления из-за неправильного выбора конструкции бака
3	Вторичный отказ бака высокого давления из-за выхода технологических условий заполнения за допустимые пределы
4	Контакты реле К2 не размыкаются
5	Вторичный отказ реле К2
6	Вторичный отказ контактного датчика давления
7	Контакты датчика давления не размыкаются
8	Контактный датчик не срабатывает при избыточном давлении
9	Вторичный отказ выключателя S1
10	Контакты выключателя S1 не размыкаются
11	Внешняя сила сохраняется на выключателе взведения S1
12	Контакты реле К1 не размыкаются
13	Вторичный отказ реле К1
14	Таймер не отсчитывает время из-за неправильной установки
15	Контакты реле таймера не размыкаются
16	Вторичный отказ реле таймера

Таблица 8 - Варианты значений исходных событий

Номер исходного отказа	Значения исходных событий по вариантам (номер по списку группы)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,01	0,02	0,05	0,03	0,06	0,09	0,09	0,05	0,02	0,01
2	0,01	0,02	0,05	0,03	0,06	0,09	0,09	0,05	0,02	0,01
3	0,02	0,03	0,15	0,05	0,02	0,02	0,01	0,05	0,02	0,02
4	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05	0,02	0,08	0,07	0,01	0,02
5	0,05	0,05	0,15	0,15	0,05	0,03	0,01	0,05	0,05	0,03
6	0,03	0,09	0,05	0,02	0,05	0,15	0,05	0,04	0,05	0,01
7	0,05	0,05	0,15	0,15	0,25	0,03	0,01	0,04	0,05	0,03
8	0,05	0,04	0,03	0,07	0,05	0,02	0,08	0,07	0,01	0,02
9	0,15	0,25	0,15	0,15	0,01	0,02	0,03	0,15	0,05	0,05
10	0,05	0,02	0,08	0,05	0,05	0,03	0,06	0,09	0,09	0,01
11	0,06	0,09	0,09	0,25	0,02	0,01	0,02	0,05	0,03	0,06
12	0,06	0,09	0,09	0,25	0,2	0,01	0,02	0,05	0,03	0,06
1	0,02	0,02	0,01	0,05	0,02	0,02	0,03	0,05	0,05	0,02
3	0,05	0,02	0,08	0,07	0,01	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05
14	0,025	0,03	0,01	0,025	0,015	0,025	0,025	0,025	0,05	0,025
15	0,025	0,015	0,025	0,015	0,025	0,03	0,09	0,08	0,02	0,025
16	0,09	0,08	0,02	0,025	0,015	0,025	0,08	0,07	0,01	0,02

Задание 11. Система, показанная на рисунке 20, состоит из двух электрических нагревателей, которые могут отказать при замыкании на землю. На рисунке 21 показано дерево отказов для этой системы.

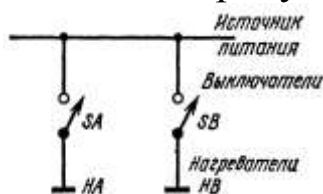


Рисунок 20 – Схема системы электрических нагревателей

Каждый нагреватель HA и HB имеет выключатель SA и SB, подключающий его к источнику питания. Если любой нагреватель отказывает при включенном выключателе, то возникающее в результате этого короткое замыкание вызывает, в свою очередь, короткое замыкание источника питания и полный выход системы из строя. Если один из выключателей отказывает в разомкнутом состоянии или ошибочно выключается до возникновения отказа нагревателя, то только эта часть системы отказывает и последняя работает на половину мощности.

Необходимо вычислить вероятность наступления конечного события для системы электрических нагревателей. Варианты значений исходных событий 1-6 принять по таблице 8.

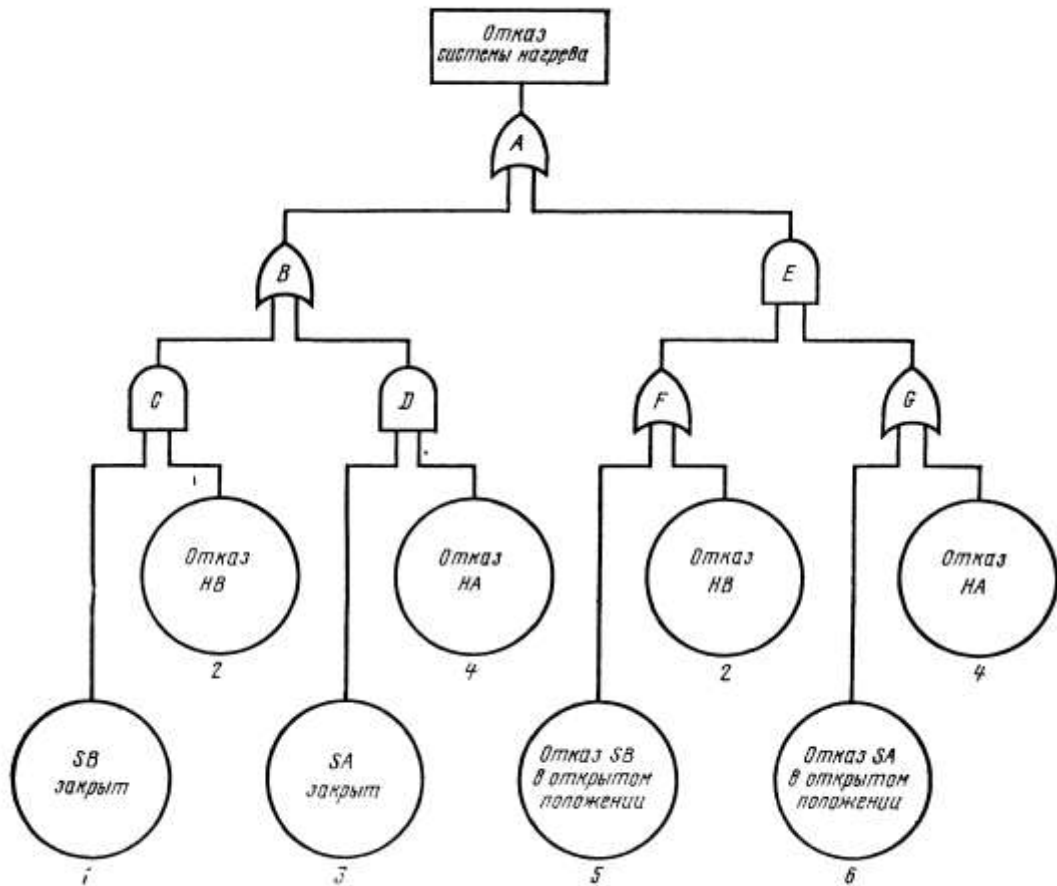


Рисунок 21- Дерево отказов для системы электрических нагревателей

Вопросы и задания

1. Для каких целей выполняется количественная оценка дерева отказов?
2. Какие данные необходимы для количественной оценки дерева отказов?
3. Перечислите основные этапы процедуры количественной оценки дерева отказов.
4. Каким методом в данной практической работе выполнялась количественная оценка дерева отказов?
5. На основании какой информации выполняется количественная оценка для завершающего события в дереве отказов?
6. К каким событиям относятся отказы элементов, входящих в состав системы?
7. Какая теорема сложения и умножения вероятностей случайных событий лежит в основе вычисления логического знака «ИЛИ»?
8. Какая теорема сложения и умножения вероятностей случайных событий лежит в основе вычисления логического знака «И»?
9. Какой теореме сложения и умножения вероятностей случайных событий соответствует данная запись: $P\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(A_i))$, и какой логический знак вычисляется с помощью данного выражения?
10. Какой теореме сложения и умножения вероятностей случайных событий соответствует данная запись: $P\left(\bigcap_{i=1}^n A_i\right) = \prod_{i=1}^n P(A_i)$, и какой логический знак вычисляется с помощью данного выражения?
11. Закончите определение: «Случайное событие - ...».
12. Закончите определение: «Зависимые события - ...».
13. Закончите определение: «Независимые события - ...».
14. Закончите определение: «Несовместные события - ...».
15. Закончите определение: «Совместные события - ...».
16. Какие события вычисляются с помощью логических знаков **И**, **ИЛИ**?
17. Какой логический знак вычисляется с помощью данного выражения?

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(AB).$$
18. Какой логический знак вычисляется с помощью данного выражения?

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B).$$
19. Какая логическая схема изображается символом \cup или «+»?
20. Какая логическая схема изображается символом \cap или «•»?
21. На чем основывается метод определения численного значения вероятности появления завершающего события в дереве отказов?
22. В каком порядке производится вычисления в дереве отказов?

Список источников информации

1. ГОСТ Р 27.302-2009. Анализ дерева неисправностей. - М.: Стандартинформ, 2011. - 22 с.
2. ГОСТ Р 51901.13-2005. Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей: Fault Tree Analysis (FTA). - М.: Стандартинформ, 2005. - 13 с.
3. Надежность технических систем и техногенный риск : учебное пособие / под ред. М. И. Фалеева. - М.: Деловой экспресс, 2002. - 368 с.
4. Томаков В.И. Прогнозирование техногенного риска с помощью «Деревьев отказов»: учебное пособие. - Курск, 1997. - 99 с.

Содержание

1 Общие положения о выполнении практической работы.....	3
2 Процедура количественной оценки дерева отказов.....	4
3 Вероятностная оценка дерева отказов.....	5
3.1 Основные понятия о случайных событиях.....	5
3.2 Теоремы сложения и умножения вероятностей случайных событий	6
3.3 Аналитическое описание простых схем.....	8
4 Практическая часть.....	10
5 Дополнительные задания, для студентов пропускающих аудиторные занятия.....	20
Вопросы и задания.....	27
Список источников информации.....	28