

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования**

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ»**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебно-методической
работе – директор РОАТ

_____ В.И. Апатцев
(подпись, Ф.И.О.)

« ____ » _____ 20 ____ г.

Кафедра: «Техносферная безопасность»
(название кафедры)

Авторы: Климова Д.В., к.тех.н,
(ф.и.о., ученая степень, ученое звание)

**ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ С МЕТОДИЧЕСКИМИ УКАЗАНИЯМИ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

«Надежность технических систем и техногенный риск»

(название дисциплины)

Направление/специальность: 280700.62. Техносферная безопасность
(код, наименование специальности /направления)

Профиль/специализация: «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» (БЖ)

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Форма обучения: заочная

Одобрена на заседании Учебно-методической комиссии РОАТ Протокол № _____ « ____ » _____ 20 ____ г. Председатель УМК _____ С.Н. Климов (подпись, Ф.И.О.)	Одобрена на заседании кафедры «Техносферная безопасность» Протокол № _____ « ____ » _____ 20 ____ г. Зав. кафедрой _____ В.А. Аксёнов (подпись, Ф.И.О.)
---	--

Москва 2014 г.

Задание 1. Оценка показателей надежности невосстанавливаемой системы

На испытании находилось 1500 образцов, некоторой невосстанавливаемой системы и отказы фиксировались через каждые 100 часов работы. Результаты представлены в табл. 1.1. Оцените вероятность безотказной работы, вероятность отказов, интенсивность отказов и частоту отказов на каждом участке времени. Постройте графики зависимости всех вышеперечисленных параметров от времени.

Таблица 1.1. Результаты испытаний (вариант выбирается по предпоследней цифре шифра студента)

№ вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Δt , час										
0-100	50	55	60	45	40	75	70	80	85	65
100-200	42	45	47	35	32	61	66	72	70	35
200-300	34	35	40	29	20	49	42	50	55	39
300-400	25	28	31	22	15	34	30	38	40	30
400-500	21	25	29	16	14	29	23	31	35	26
500-600	19	21	22	14	14	27	21	27	25	26
600-700	20	20	24	12	13	24	22	26	27	24
700-800	19	20	21	12	15	23	22	25	25	23
800-900	19	19	20	13	14	22	21	25	26	22
900-1000	18	17	19	11	15	20	21	24	24	21
1000-1100	18	17	18	12	13	19	24	24	23	20
1100-1200	17	18	16	12	11	19	20	23	24	20
1200-1300	19	17	17	11	12	21	22	22	25	19
1300-1400	17	16	18	10	12	20	21	21	23	22
1400-1500	16	16	17	10	11	22	20	20	22	21
1500-1600	15	15	16	10	11	21	19	22	21	21
1600-1700	15	15	16	10	11	21	19	22	21	21
1700-1800	14	14	15	11	10	20	18	21	20	20
1800-1900	15	13	13	11	10	19	19	24	22	21
1900-2000	13	14	13	10	11	19	18	20	21	19
2000-2100	13	14	13	10	11	19	18	20	21	19
2200-2300	14	13	12	10	10	18	17	22	19	18
2300-2400	12	12	15	11	10	17	16	22	20	17
2400-2500	15	14	16	12	11	19	18	24	22	21
2500-2600	17	16	15	18	13	22	21	27	26	25
2600-2700	20	17	15	16	15	27	26	34	29	27
2700-2800	23	12	20	19	18	26	23	43	27	35
2800-2900	35	27	22	21	17	45	34	51	39	41
2900-3000	35	30	43	40	45	50	55	63	60	55

Методические указания к выполнению задания

На испытания было поставлено 1000 образцов.

Δt , час		Δt , час		Δt , час	
0-100	50	1000-1100	15	2000-2100	12
100-200	40	1100-1200	14	2100-2200	13
200-300	32	1200-1300	14	2200-2300	12
300-400	25	1300-1400	13	2300-2400	13
400-500	20	1400-1500	14	2400-2500	13
500-600	17	1500-1600	13	2500-2600	14
600-700	16	1600-1700	13	2600-2700	16
700-800	16	1700-1800	13	2700-2800	20
800-900	15	1800-1900	14	2800-2900	25
900-1000	14	1900-2000	12	2900-3000	26

Определим вероятность безотказной работы для всех отрезков времени:

$$P(t) = \frac{N_0 - R(t)}{N_0},$$

где N_0 - количество образцов в начальный момент времени,

$R(t)$ - количество отказов образцов.

$$P(100) = \frac{1000 - 50}{1000} = 0,95;$$

$$P(200) = \frac{1000 - 90}{1000} = 0,91;$$

.....

$$P(3000) = \frac{1000 - 575}{1000} = 0,425$$

На основании полученных результатов построим график зависимости вероятности безотказной работы системы от времени (рис. 1.1).

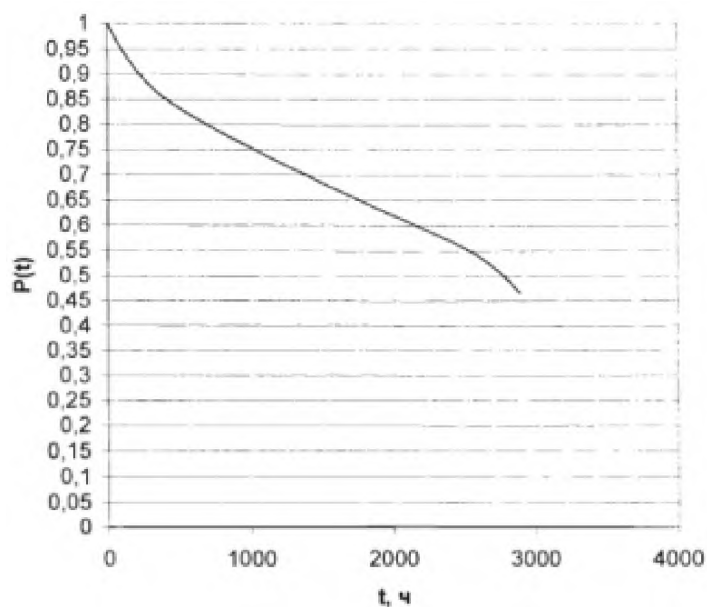


Рис. 1.1. Зависимость вероятности безотказной работы системы от времени

Затем рассчитаем вероятность отказа:

$$Q(t) = 1 - P(t)$$

$$Q(100) = 1 - 0,95 = 0,05;$$

$$Q(200) = 1 - 0,91 = 0,09;$$

...

$$Q(3000) = 1 - 0,425 = 0,575.$$

По полученным данным построим график зависимости вероятности отказов системы от времени (рис. 3.2).

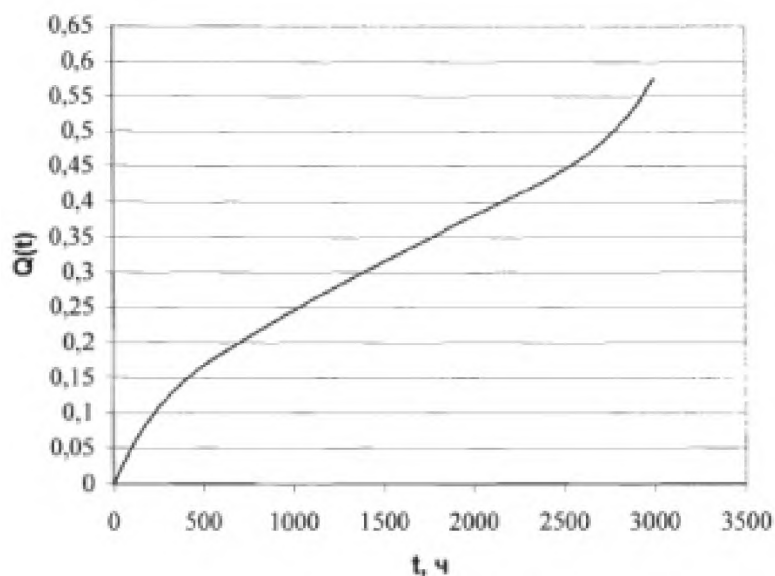


Рис. 1.2. Зависимость вероятности отказов системы от времени
Далее определим частоту отказов ситемы на отрезках времени.

$$a(t) = \frac{R(t)}{N_0 \Delta t}.$$

$$a(50) = \frac{50}{1000 \cdot 100} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1};$$

$$a(150) = \frac{40}{1000 \cdot 100} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1};$$

....

$$a(2950) = \frac{40}{1000 \cdot 100} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1}.$$

По полученным данным построим график зависимости частоты отказов системы от времени (рис. 1.3).

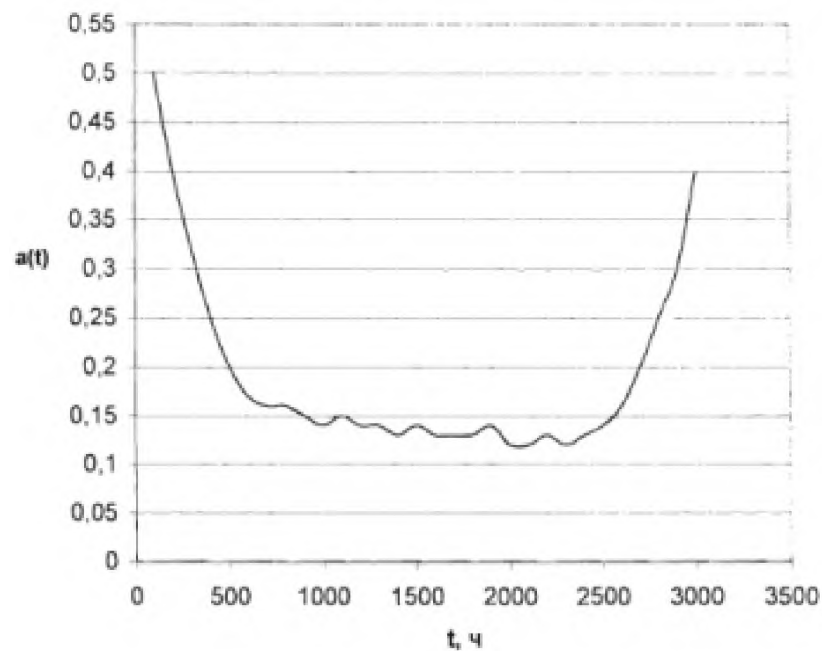


Рисунок 1.3. Зависимость частоты отказов системы от времени

Определим интенсивность отказов на отрезках времени:

$$\lambda(t) = \frac{R(t)}{N_{\text{ср}} \Delta t}.$$

$$\lambda(50) = \frac{50}{\frac{1000+950}{2} \cdot 100} = 0,51 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1},$$

$$\lambda(150) = \frac{40}{\frac{950+910}{2} \cdot 100} = 0,43 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1}$$

...

Построим график зависимости интенсивности отказов системы от времени (рис. 3.4.).

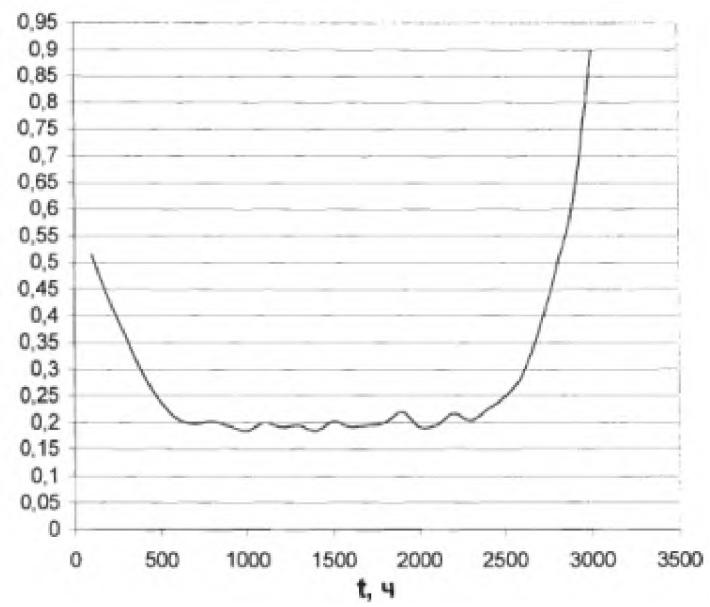


Рисунок 1.4. Зависимость интенсивности отказов системы от времени

Задание 2. Определение системы оптимальных проверок отказов

Система состоит из семи элементов, для каждого из которых известны значения условной вероятности того, что отказал i -ый элемент при условии, что в системе произошел отказ только одного элемента (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Значения условных вероятностей того, что отказал i -ый элемент при условии, что в системе произошел отказ только одного элемента (вариант выбирается по сумме цифр шифра)

№ вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q_1	0,3	0,2	0,3	0,25	0,1	0,2	0,2	0,02	0,04	0,15
q_2	0,2	0,4	0,25	0,03	0,3	0,35	0,4	0,08	0,06	0,35
q_3	0,2	0,05	0,25	0,07	0,1	0,15	0,1	0,01	0,08	0,05
q_4	0,1	0,05	0,05	0,05	0,3	0,09	0,04	0,09	0,02	0,15
q_5	0,1	0,05	0,05	0,02	0,05	0,01	0,06	0,3	0,2	0,03
q_6	0,05	0,15	0,04	0,08	0,05	0,1	0,1	0,1	0,2	0,07
q_7	0,05	0,1	0,06	0,5	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,2

Для выявления отказавшего элемента можно провести следующие проверки:

Проверка 1: отделение элементов 1, 5 от элементов 2, 3, 4, 6, 7;

Проверка 2: отделение элементов 1, 2, 4 от элементов 3, 5, 6, 7;

Проверка 3: отделение элементов 6, 7 от элементов 1, 2, 3, 4;

Проверка 4: отделение элементов 2, 7 от элементов 1, 3, 4, 5, 6;

Проверка 5: отделение элементов 2, 3, 5 от элементов 1, 4, 6, 7.

Время, затраченное на проведение проверок приведено в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Значение времени, затраченного на проведение проверок

№ вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T_1 , мин	2	1	4	5	1	5	1,5	1	3	6
T_2 , мин	1,5	3	4	1	2	6	2,5	2	2	1
T_3 , мин	2	2	5	1	3	4	3	6	4	3
T_4 , мин	1	2	2	6	4	3	5	5	1	2
T_5 , мин	5	1,5	1	2	5	2	2	3	2	2

Требуется определить систему оптимальных проверок.

Методические указания к выполнению задания

Для решения этой задачи применяется "информационный" метод, который является приближенным. Поскольку приближенный метод предлагается использовать в тех случаях, когда различные проверки имеют различную длительность.

Рассмотрим решение на примере.

q_1	0,3
q_2	0,3
q_3	0,1
q_4	0,1
q_5	0,1
q_6	0,05
q_7	0,05

T_1 , мин	3
T_2 , мин	1,5
T_3 , мин	1
T_4 , мин	2
T_5 , мин	3

Для оптимального отыскания единственного неисправного элемента предлагается следующий алгоритм.

Рассматривается исходная совокупность из семи элементов, входящих в состав системы. Для каждой возможной j -й проверки, которая охватывает некоторую совокупность из всех элементов устройства, составляется величина, для первого провесса поиска неисправного элемента:

$$g_j^{(1)} = \frac{P_1 \lg P_1 + Q_1 \lg Q_1}{T_1}.$$
$$g_1^{(1)} = \frac{(0,3 + 0,1) \cdot \lg(0,3 + 0,1) + (1 - (0,3 + 0,1)) \cdot \lg(1 - (0,3 + 0,1))}{3} =$$

$$= \frac{0,4 \cdot 0,398 + 0,6 \cdot 0,222}{3} = 0,098;$$

$$g_2^{(1)} = \frac{0,7 \cdot 0,155 + 0,3 \cdot 0,523}{1,5} = 0,177;$$

$$g_3^{(1)} = \frac{0,1 \cdot 1 + 0,9 \cdot 0,056}{1} = 0,150$$

$$g_4^{(1)} = \frac{0,35 \cdot 0,456 + 0,65 \cdot 0,187}{2} = 0,142$$

$$g_5^{(1)} = \frac{0,5 \cdot 0,301 + 0,5 \cdot 0,301}{3} = 0,100$$

Выбираем в качестве первой проверки проверку с наибольшей вероятностью $g_j^{(1)}$. В данном случае это Проверка № 2. Неисправный элемент оказался среди группы элементов 1, 2 и 4.

Далее из группы элементов выделяем элемент с наибольшей вероятностью отказа. В группе элементов 1, 2 и 4 это элемент 1. Необходимо проанализировать какие проверки позволяют отделить элемент с наибольшей вероятностью отказа от элементов группы. Элемент 1 от элементов 2, 4 позволяет отделить Проверка 1.

Далее, если элементов в группе было три, необходимо отделить из оставшихся элемент с большей вероятностью отказа. В данном случае необходимо отделить элемент 2. Проверка 3 не позволяет произвести дальнейшей локализации оставшегося элемента. Проверка 4 и Проверка 5 отделяют элемент 2 от элементов 1, 4. Необходимо выбрать какую из них проводить.

Для этого предварительно вычислим значения вероятностей отказа q_1^* , q_2^* , q_4^* при условии, что отказавший элемент находится среди этих элементов:

$$q_1^* = \frac{q_1}{q_1 + q_2 + q_4} = \frac{0,3}{0,3 + 0,3 + 0,1} = \frac{3}{7} = 0,43;$$

$$q_2^* = \frac{q_2}{q_1 + q_2 + q_4} = \frac{0,3}{0,3 + 0,3 + 0,1} = \frac{3}{7} = 0,43$$

$$q_3^* = 0,$$

$$q_4^* = \frac{q_1}{q_1 + q_2 + q_4} = \frac{0,1}{0,3 + 0,3 + 0,1} = \frac{1}{7} = 0,14.$$

$$q_5^* = 0.$$

В этом случае:

$$g_1^{(1)} = \frac{(0,43 + 0 + 0) \cdot \lg(0,43 + 0 + 0) + (1 - (0,43 + 0 + 0)) \cdot \lg(1 - (0,43 + 0 + 0))}{3} =$$

$$= \frac{0,43 \cdot 0,366 + 0,57 \cdot 0,244}{3} = 0,098;$$

$$\begin{aligned}
g_2^{(1)} &= \frac{(0,43 + 0,43 + 0,14)lg(0,43 + 0,43 + 0,14) + (1 - (0,43 + 0,43 + 0,14))lg(1 - (0,43 + 0,43 + 0,14))}{1,5} \\
&= \\
&= \frac{1 \cdot lg1 + 0 \cdot lg1}{1,5} = 0; \\
g_3^{(1)} &= 0; \\
g_4^{(1)} &= \frac{0,43 \cdot 0,366 + 0,57 \cdot 0,244}{2} = 0,148; \\
g_5^{(1)} &= \frac{0,43 \cdot 0,366 + 0,57 \cdot 0,244}{5} = 0,099.
\end{aligned}$$

Видно, что в качестве проверки на втором шаге процесса поиска неисправного элемента следует применить Проверку 4.

Если исправным элементов оказывается элемент 2, то на этом процедура заканчивается. Если же неисправным элементом является либо элемент 1, либо элемент 4, процесс продолжается. Причем в качестве проверки на третьем шаге остается возможность использовать лишь Проверку 1.

Задание 3. Составление дерева отказов

Нарисовать дерево отказов, описывающее сценарий поражения человека электрическим током от используемых в быту электроприборов (табл.3.1).

Т а б л и ц а 3.1.

Вариант	Электроприбор
0	Утюг
1	Стиральная машина
2	Системный блок компьютера
3	Монитор
4	Телевизор
5	Видеомагнитофон
6	Фен
7	Музыкальный центр
8	Пылесос
9	База радиотелефона

Методические указания к выполнению задания

Предполагается, что поражение человека электрическим током L является результатом одновременного наложения трех условий: появления электрического потенциала высокого напряжения на металлическом корпусе электроустановки (событие Н), нахождение человека на токопроводящем основании, соединенном с землей (событие I) и касание какой-либо частью его тела корпуса электроустановки (событие К).

В свою очередь, событие Н будет следствием любого из двух других событий – предпосылок А и В: снижения сопротивления изоляции и касания токоведущими частями электроустановки ее корпуса по какой-либо причине; событие I также обусловлено двумя предпосылками С и D (нахождением человека на токопроводящем полу или его касанием заземленных элементов); событие К – следствием одной из трех предпосылок Е, F и G: необходимостью ремонта, технического обслуживания или использования электроустановки по назначению.

Задание 4. Анализ результатов оценки риска по дереву событий

Провести анализ результатов расчета риска схода подвижного состава с рельсов из-за дефекта рельсов. Соответствующие значения вероятностей, необходимых для проведения анализа взять из табл. 4.1.

Т а б л и ц а 4.1

Вариант	Вероятность ошибки дефекто- скописта	Вероят- ность того, что дефект рельсов критическ ий, $P(E_1 I_0)$	Вероят- ность того, что подвиж- ной состав неиспра- вен, $P(E_2 I_0)$	Вероятность периодическ ого дефекта рельсов $P(E_{31} I_0)$	Вероят- ность наступле- ния резонанса $P(E_{32} I_0)$
0	0,010	0,001	0,002	0,85	0,005
1	0,009	0,002	0,003	0,80	0,006
2	0,008	0,003	0,004	0,75	0,007
3	0,007	0,004	0,005	0,70	0,008
4	0,006	0,005	0,006	0,65	0,009
5	0,005	0,006	0,007	0,60	0,005
6	0,004	0,007	0,008	0,55	0,006
7	0,003	0,008	0,009	0,50	0,007
8	0,002	0,008	0,010	0,45	0,008
9	0,001	0,010	0,011	0,40	0,009

Методические указания к выполнению задания

«Дерево событий», изображенное на рис. 4.1, соответствует гипотетической последовательности событий для схода подвижного состава с рельсов.

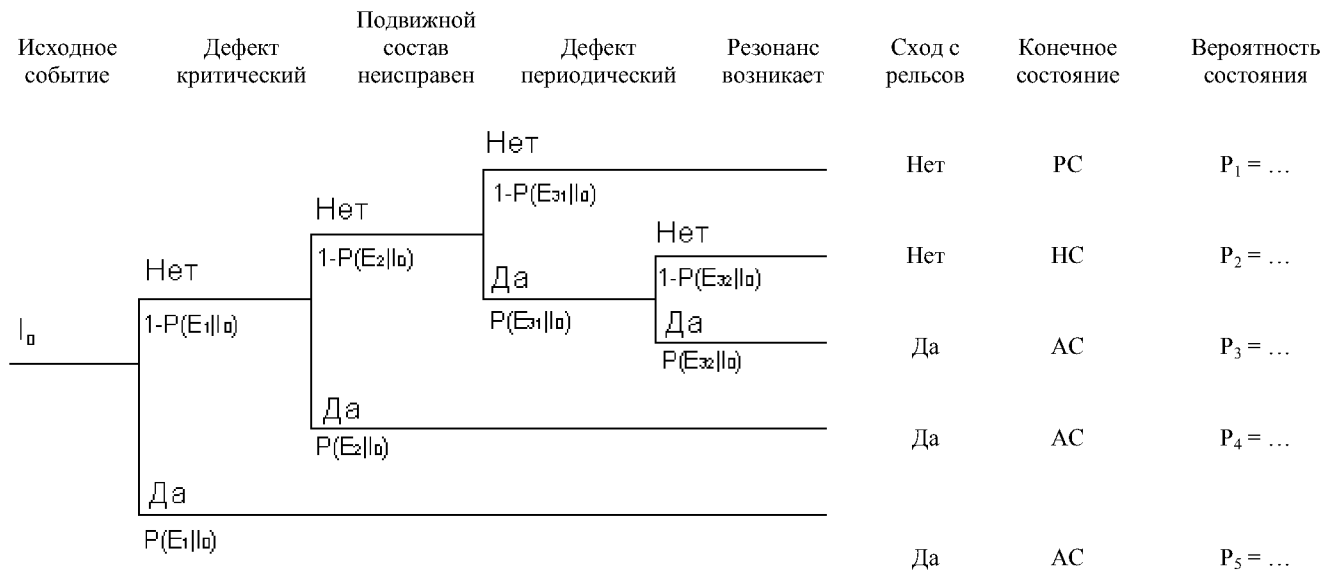


Рис. 4.1. «Дерево событий» для схода подвижного состава с рельсов из-за дефекта рельсов

Аварийное состояние, связанное со сходом состава с рельсов, обусловлено следующими промежуточными событиями:

I_1 : наличием критического дефекта рельсов;

I_2 : неисправностью подвижного состава;

I_3 : наличием периодического дефекта рельсов и наступлением резонанса.

Исходное событие I_0 связано с ошибкой дефектоскописта (персонала, осуществляющего контроль рельсов). В данном случае можно выделить три аварийных пути (события):

E_1 : критический дефект рельсов;

E_2 : неисправность подвижного состава;

E_3 : периодический дефект рельсов и наступление резонанса.

Вероятность первого исхода:

$$P_1 = (1 - P(E_1|I_0)) \cdot (1 - P(E_2|I_0)) \cdot (1 - P(E_{31}|I_0)) = \dots$$

Система при соответствующей последовательности событий приходит в ... состояние. Последовательность событий при этом является (не является) аварийной.

Вероятность второго исхода:

$$P_2 = (1 - P(E_1|I_0)) \cdot (1 - P(E_2|I_0)) \cdot (P(E_{31}|I_0)) \cdot (1 - P(E_{32}|I_0)) = \dots$$

Система при соответствующей последовательности событий приходит в ... состояние. Последовательность событий при этом является (не является) аварийной.

Вероятность третьего исхода:

$P_3 = (1 - P(E_1|I_0)) \cdot (1 - P(E_2|I_0)) \cdot (P(E_{31}|I_0)) \cdot P(E_{32}|I_0) = \dots$ Система при соответствующей последовательности событий приходит в ... состояние. Последовательность событий при этом является (не является) аварийной.

Вероятность четвертого исхода:

$P_4 = (1 - P(E_1|I_0)) \cdot P(E_2|I_0) = \dots$ Система при соответствующей последовательности событий приходит в ... состояние. Последовательность событий при этом является (не является) аварийной.

Вероятность пятого исхода:

$P_5 = P(E_1|I_0) = \dots$ Система при соответствующей последовательности событий приходит в ... состояние. Последовательность событий при этом является (не является) аварийной.

Анализ колонки состояний показывает, что число аварийных последовательностей равно ...

Поскольку авария наступает при реализации одной из аварийных последовательностей (реализуется в результате суммы событий), то, считая, эти аварийные последовательности попарно невозможными, можно записать

$$\text{Вер}\{\text{аварийного состояния}\} = P(E_1|I_0) + P(E_2|I_0) + P(E_3|I_0),$$

где $P(\bullet)$ - вероятность события в скобках.

Соответствующие вероятности $P(E_1|I_0)$ и $P(E_2|I_0)$ заданы. Вероятность $P(E_3|I_0)$ реализации аварийных последовательностей E_3 определяют по формуле вероятности произведения независимых событий: I_{31} - наличие периодического дефекта рельсов и I_{32} - наступление резонанса:

$$P(E_3|I_0) = P(I_{31}I_{32}) = P(I_{31})P(I_{32}) = \dots$$

Значит, условная вероятность аварии $Q(I_0) = P(E_1|I_0) + P(E_2|I_0) + P(E_3|I_0) = \dots$

Вероятность аварии $R(I_0)$ при наступлении исходного события I_0 :

$$R(I_0) = P(I_0) \cdot \sum_{i=1}^n Q_i(E_i|I_0) = \sum_{i=1}^n P(I_0) \cdot Q_i(E_i|I_0), \quad (1)$$

где $P(I_0)$ - вероятность наступления исходного события I_0 за некоторый период времени T , например за один год.

Зная вероятность наступления исходного события $P(I_0)$, по формуле (1) вычисляют риск аварии, связанной со сходом состава с рельсов:

$$R(I_0) = P(I_0) \sum_{i=1}^3 Q_i(E_i|I_0) = P(I_0) (P(E_1|I_0) + P(E_2|I_0) + P(E_3|I_0)) = \dots$$

Анализ результатов расчета риска позволяет выделить наиболее важную (в аспекте безопасности) аварийную последовательность, которая вносит наибольший вклад в величину риска. При сходе подвижного состава с рельсов в данном случае такой аварийной последовательностью является Таким образом, для повышения безопасности эксплуатации целесообразно в первую очередь повысить качество изготовления ...