

4/45/2

Одобрено кафедрой  
«Физика и химия»

## НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Задание на контрольную работу  
с методическими указаниями  
для студентов IV курса  
специальности

330100 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
В ТЕХНОСФЕРЕ (БЖТ)



Москва – 2004

Российский государственный открытый технический университет  
пути сообщения  
Министерства путей сообщения Российской Федерации

Составитель – ст. преп. Д.В. Климова

Рецензент – канд. физ.-мат. наук., проф. Е.К. Сирина

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

© Российский государственный открытый технический университет  
пути сообщения Министерства путей сообщения Российской  
Федерации, 2004

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

◆ Номер варианта студент определяет по **последней цифре учебного шифра**.

◆ Задания 2 и 3 выполняют в среде математического пакета MathCAD.

◆ Условия всех задач переписывают полностью, без сокращений.

◆ Все значения величин, заданных в условиях и привлекаемых из справочных таблиц, записывают для наглядности сокращенно (столбиком) в тех единицах, которые заданы и в единицах той системы, в которой выполняют решения (как правило, в системе СИ)

◆ Необходимо указать законы, которые должны быть использованы и аргументировать возможность их применения для решения данной задачи.

◆ С помощью указанных законов необходимо получить необходимые расчетные формулы.

◆ Вывод формул и решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.

◆ Использованные в формулах буквенные обозначения должны быть согласованы с обозначениями, приведенными в условии задачи. Дополнительные буквенные обозначения следует сопровождать соответствующими объяснениями.

◆ Каждая последующая задача в контрольной работе должна начинаться с новой страницы.

◆ Если контрольная работа не допущена к зачету, то все необходимые дополнения и исправления представляют вместе с незачтенной работой. Исправления в тексте незачтенной работы не допускаются.

◆ Допущенные к зачету контрольные работы с внесенными уточнениями предъявляют преподавателю на зачете. Студент должен быть готов дать во время зачета пояснения по решению всех выполненных им задач.

## ЗАДАНИЕ 1

Нарисовать дерево отказов, описывающее сценарий поражения человека электрическим током от используемых в быту электроприборов (табл. 1).

Таблица 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

### ПОРЯДОК АНАЛИЗА

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

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

## ЗАДАНИЕ 2

Провести анализ результатов расчета риска схода подвижного состава с рельсов вследствие дефекта последних. Соответствующие значения вероятностей, необходимых для проведения анализа взять из табл. 2.

Таблица 2

Вариант	Вероятность ошибки дефектоскописта	Вероятность того, что дефект рельсов критический, $P(E_1 I_0)$	Вероятность того, что подвижной состав неисправен, $P(E_2 I_0)$	Вероятность периодического дефекта рельсов $P(E_3 I_0)$	Вероятность наступления резонанса $P(E_4 I_0)$	
По последней цифре шифра	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

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА

«Дерево событий», изображенное на рис. 1, соответствует гипотетической последовательности событий для схода подвижного состава с 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 (сотрудника, осуществляющего контроль рельсов). В данном случае можно выделить три аварийных пути (события):

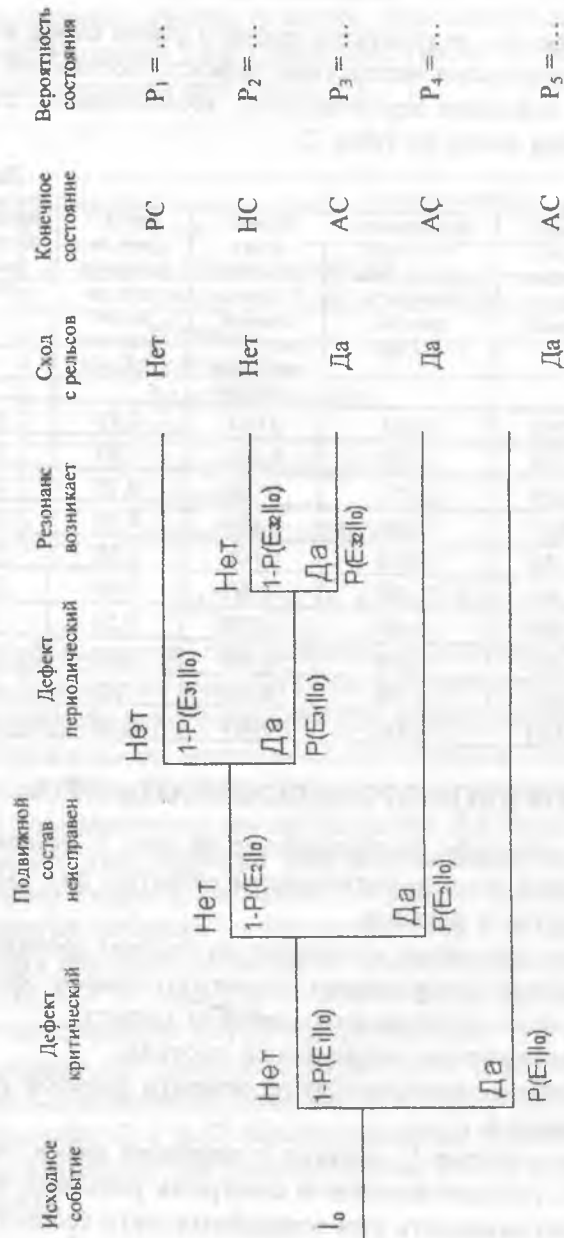


Рис. 1. «Дерево событий» для схода подвижного состава с рельсов из-за дефекта рельсов

- $E_1$ : 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:*

$P_2 = (1 - P(E_1 | I_0)) \cdot (1 - P(E_2 | I_0)) \cdot (1 - P(E_{31} | I_0)) \cdot (1 - P(E_{32} | I_0)) = \dots$ . Система при соответствующей последовательности событий приходит в ... состояние. Последовательность событий при этом является (не является) аварийной.

*Вероятность третьего исхода:*

$P_3 = (1 - P(E_1 | I_0)) \cdot (1 - P(E_2 | I_0)) \cdot (1 - P(E_{31} | I_0)) \cdot P(E_{32} | I_0) = \dots$ . 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  $P(\cdot)$  — 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  $I_0$ :

$$R(I_0) = P(I_0) \cdot \sum_{i=1}^n Q_i(E_i | I_0) = \sum_{i=1}^n P(I_0) \cdot Q_i(E_i | I_0), \quad (2.1)$$

где  $P(I_0)$  — вероятность наступления исходного события 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 ... .



### ЗАДАНИЕ 3

Провести интервальную оценку показателей безотказности. Количество наблюдаемых объектов  $N$ . Количество зафиксированных отказов  $L$ . Доверительная вероятность  $\gamma$  (%).

1. Оцените влияние величины доверительной вероятности на интервал гарантированной оценки вероятности безотказной работы. Для оценки самостоятельно примите несколько значений доверительной вероятности и выполните расчеты.
2. Каково влияние числа отказов на размер области гарантированной оценки вероятности безотказной работы? Число отказов самостоятельно изменяйте от одного до величины  $N$ .
3. Рассмотрите при доверительной различной вероятности частный случай, когда число отказов  $L = 0$ .  
Значения, необходимые для оценки, берут из табл. 3.

Таблица 3

Вариант	Количество наблюдаемых объектов $N$ , ед.	Количество зафиксированных отказов $L$ , ед.	Доверительная вероятность $\gamma$ , %
0	25	7	95
1	24	2	95
2	17	4	95
3	13	3	85
4	18	7	95
5	24	3	95
6	29	5	90
7	27	3	85
8	17	5	90
9	21	8	95

## ПОРЯДОК ОЦЕНКИ

Число степеней свободы, необходимое для вычисления квантилей  $\chi^2$  распределения:

$$k_1 = 2L + 2,$$

$$k_2 = 2L.$$

Оценку вероятности безотказной работы проводят по формулам:

$$p = 1 - \frac{L}{N},$$

$$P = p(1 - \gamma)^{\frac{1}{N-L}}.$$

Нижняя интервальная оценка вероятности безотказной работы:

$$P_n = 1 - \frac{\chi_1}{(2N - L) + 0,5\chi_1}.$$

Верхняя интервальная оценка вероятности безотказной работы:  $P_v = 1 - \frac{\chi_2}{(2N - L + 1) + 0,5\chi_2}$ .

При числе отказавших объектов, равном нулю, вычисление нижней интервальной оценки безотказной работы проводят по формулам:

$$p_0 = 1 - \frac{L}{N},$$

$$P_0 = p_0(1 - \gamma)^{\frac{1}{N-L}}.$$

Результаты записывают по следующей форме:

1. Вероятность безотказной работы анализируемых объектов находится в интервале от ... до .... Этот результат получен с доверительной вероятностью  $\chi = \dots$

2. С изменением доверительной вероятности от ..... до ..... интервальные оценки вероятности безотказной работы меняются следующим образом.....

3. С изменением числа отказов от ... до ... интервальные оценки изменяются следующим образом ...

4. При числе отказов равном нулю верхняя интервальная оценка равна ...., при этом нижняя интервальная оценка равна ..... При изменении доверительной вероятности эти показатели меняются следующим образом .....