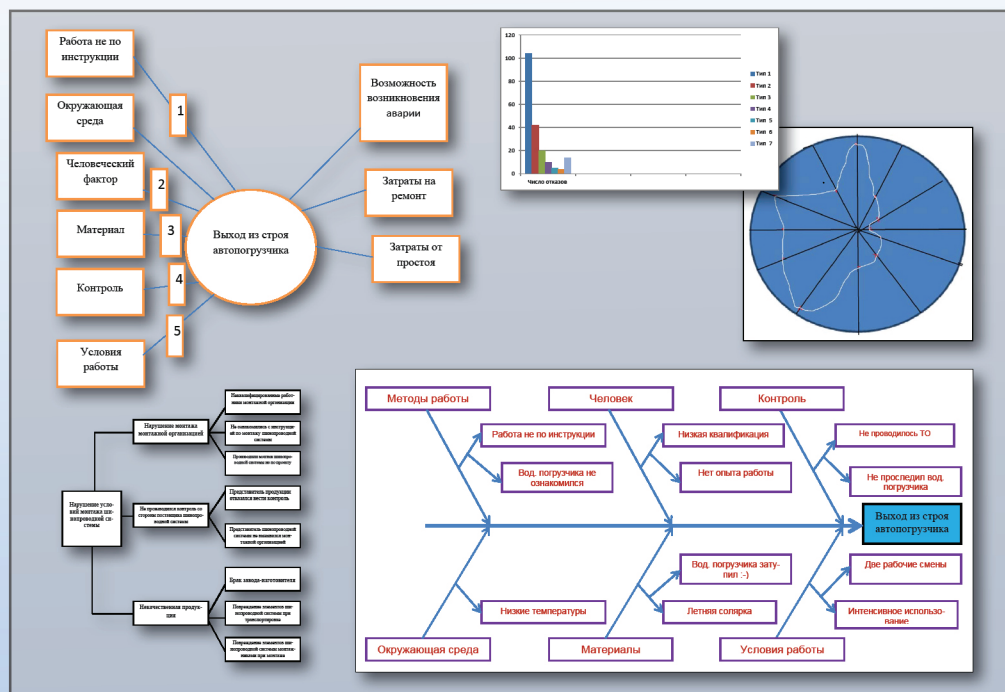


И.В. Резникова

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Электронное учебно-методическое пособие



УДК 62-192(075.8)

ББК 30.14я73

Рецензенты:

д-р пед. наук, профессор, зав. кафедрой промышленной и экологической безопасности, профессор Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева *Е.В. Муравьева*;

канд. техн. наук, доцент Тольяттинского государственного университета *И.И. Рахоян*.

Резникова, И.В. Надежность технических систем и техногенный риск : электронное учебно-методическое пособие / И.В. Резникова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. – 1 оптический диск.

В учебно-методическом пособии представлены практические занятия для изучения дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск».


Предназначено для студентов направления подготовки бакалавров 20.03.01 «Техносферная безопасность» очной формы обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер; Windows XP/Vista/7/8; ПIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2018



Редактор *Е.В. Ахмадулина*
Техническое редактирование: *Т.Г. Ищенко*
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

Дата подписания к использованию 25.12.2017.

Объем издания 5,29 Мб.

Комплектация издания:

компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-18-17.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

Введение	6
Методические рекомендации по изучению дисциплины	8
Практическое задание 1. Определение количественных характеристик надежности по статистическим данным об отказах изделия	11
Практическое задание 2. Аналитическое определение количественных характеристик надёжности изделия	15
Практическое задание 3. Последовательное соединение элементов в систему	19
Практическое задание 4. Расчет надежности системы с постоянным резервированием	23
Практическое задание 5. Анализ надежности систем с применением методики «Диверсионный анализ»	27
Практическое задание 6. Прогнозирование интенсивности отказов	73
Практическое задание 7. Анализ надежности системы с помощью методики «Дерево неисправностей»	80
Практическое задание 8. Анализ надежности системы с помощью методики «Дерево событий»	83
Практическое задание 9. Анализ надежности системы с помощью методики «Анализ видов и последствий отказов»	85
Практическое задание 10. Анализ надежности человеческого фактора	90
Практическое задание 11. «Пять почему»	94
Практическое задание 12. Анализ надежности с помощью диаграммы Исикавы	97
Практическое задание 13. Анализ надежности системы с помощью методики «Древовидная диаграмма»	101

Практическое задание 14. Анализ надежности системы по методике «Галстук-бабочка»	105
Практическое задание 15. Анализ надежности системы по радиальной диаграмме	109
Практическое задание 16. Анализ надежности с помощью методики «Диаграмма Парето»	131
Практическое задание 17. Расчет техногенного риска	144
Вопросы итогового контроля	148
Библиографический список	151
Приложение 1	153
Приложение 2	165

Введение

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено для изучения дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск».

Цель дисциплины – повышение качества подготовки студентов по вопросам надежности технических систем путем углубленного изучения наиболее важных для будущей профессиональной деятельности вопросов теории и практики прогнозирования рисков и отказов технических систем в целом или их частей.

Задачи – приобретение теоретических знаний в области надежности и формирование необходимых практических навыков:

- для разработки физических и математических моделей системы человек – машина;
- проведения анализа показателей надежности систем человек – машина – среда;
- анализа опасностей и рисков, связанных с созданием и эксплуатацией современной техники и технологий;
- прогнозирования и оценки технического состояния систем.

Дисциплина «Надежность технических систем и техногенный риск» относится к базовой части профессионального цикла дисциплин ФГОС ВПО.

Данная дисциплина (учебный курс) базируется на освоении дисциплин «Высшая математика», «Экология», «Безопасность жизнедеятельности».

Дисциплины, учебные курсы, для которых необходимы знания, умения, навыки, приобретаемые в результате изучения данной дисциплины (учебного курса), – «Ноксология», «Промышленная экология».

В результате изучения дисциплины (учебного курса) студент формирует и демонстрирует следующие профессиональные компетенции (ПК):

- способность оценивать риск и определять меры по обеспечению безопасности разрабатываемой техники – ПК-4;
- способность использовать методы расчетов элементов технологического оборудования по критериям работоспособности и надежности – ПК-5.

В результате изучения дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» студент должен

✓ *знать:*

- современные аспекты техногенного риска;
- методы качественного и количественного анализа надежности и риска;
- математический аппарат анализа надежности и техногенного риска;
- основные модели типа человек – машина – среда;
- основные показатели надежности и методы их определения;
- основы системного анализа;
- алгоритмы исследования опасностей;

✓ *уметь:*

- рассчитывать риски и разрабатывать мероприятия по поддержанию их допустимых величин;
- определять стандартные статистические характеристики ЧС (аварий, несчастных случаев, катастроф);
- анализировать современные системы человек – машина – среда на всех стадиях цикла и идентифицировать опасности;
- рассчитывать основные показатели надежности систем данного профиля;

✓ *владеть навыками:*

- применения количественных методов анализа опасностей и оценки риска;
- применения методик качественного анализа опасностей сложных технических систем типа человек – машина – среда.

Программой изучения дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» предусмотрено выполнение 17 практических работ. По итогам изучения теоретического материала и выполнения практических работ предусмотрен зачет.

Методические рекомендации по изучению дисциплины

Основной образовательной технологией при изучении дисциплины является применение технологии традиционного обучения.

На базе полученных на лекциях теоретических знаний при проведении практических занятий выявляются и применяются необходимые связи между теоретическими знаниями и конкретными навыками применения этих знаний на практике.

Модуль 1. Математический аппарат расчета надежности технических систем

Цель изучения — повышение качества подготовки специалистов по вопросам надежности технических систем путем углубленного изучения наиболее важных для будущей профессиональной деятельности вопросов теории и практики прогнозирования рисков и отказов технических систем в целом или ее частей.

Задачи — приобретение теоретических знаний в области надежности и формирование практических навыков, необходимых для разработки физических и математических моделей системы человек — машина.

При работе над модулем студентам рекомендуется начать изучение ГОСТ 27.301-95 «Расчет надежности».

**Изучив данный модуль, студент должен
знать:**

- математический аппарат анализа надежности и техногенного риска;
- основные модели типа человек — машина — среда;
- основные показатели надежности и методы их определения;
- основы системного анализа;
- алгоритмы исследования опасностей;

уметь:

- анализировать современные системы человек — машина — среда на всех стадиях цикла и идентифицировать опасности;
- рассчитывать основные показатели надежности систем данного профиля;

владеть навыком применения методик качественного анализа опасностей сложных технических систем типа человек — машина — среда.

При освоении модуля необходимо:

- изучить теоретический учебный материал;
- выполнить практические работы;
- оформить отчеты по практическим заданиям.

Модуль 2. Оценка пожарной безопасности технологических процессов, связанных с нагревом и охлаждением, и объектов энергетики

Цель изучения — повышение качества подготовки специалистов по вопросам надежности технических систем путем углубленного изучения наиболее важных для будущей профессиональной деятельности вопросов теории и практики прогнозирования рисков и отказов технических систем в целом или ее частей.

Задачи — приобретение теоретических знаний в области надежности и формирование практических навыков, необходимых:

- для проведения анализа показателей надежности систем человек — машина — среда;
- анализа опасностей и рисков, связанных с созданием и эксплуатацией современной техники и технологий;
- прогнозирования и оценки технического состояния систем.

При работе над модулем студентам рекомендуется начать изучение нормативных документов:

- ГОСТ 27.310-95 «Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения»;
- ГОСТ Р 27.004-2009 «Надежность в технике. Модели отказов».

Изучив данный модуль, студент должен

знать:

- современные аспекты техногенного риска;
- методы качественного и количественного анализа надежности и риска;

уметь:

- рассчитывать риски и разрабатывать мероприятия по поддержанию их допустимых величин;

- определять стандартные статистические характеристики ЧС (аварий, несчастных случаев, катастроф);

владеть:

- навыком применения количественных методов анализа опасностей и оценки риска.

При освоении модуля необходимо:

- изучить теоретический учебный материал;
- выполнить практические работы;
- оформить отчеты по практическим заданиям.

Практическое задание 1

Определение количественных характеристик надежности по статистическим данным об отказах изделия

Цель: получить практические навыки определения количественных характеристик надежности.

Задание: определить статистическую оценку вероятности безотказной работы изделия $P(t)$ и вероятности отказа $q(t)$.

Алгоритм выполнения задания

1. Ознакомиться с методами определения количественных характеристик надежности.
2. Произвести расчеты количественных характеристик надежности согласно варианту задания (табл. 1.2).
3. Сделать вывод о надежности системы (табл. 1.1).

Студент произвольно выбирает вариант задания согласно табл. 1.2.

Теоретические сведения

Вероятность безотказной работы по статистическим данным об отказах оценивается выражением:

$$P(t) = n(t)/N, \quad (1.1)$$

где $n(t)$ – число изделий, не отказавших к моменту времени t ; N – число изделий, поставленных на испытания; $P(t)$ – статистическая оценка вероятности безотказной работы изделия.

Для вероятности отказа по статистическим данным справедливо соотношение:

$$q(t) = N - n(t)/N, \quad (1.2)$$

где $N - n(t)$ – число изделий, отказавших к моменту времени t ; $q(t)$ – статистическая оценка вероятности отказа изделия.

Частота отказов по статистическим данным об отказах определяется выражением:

$$f(t) = \Delta n(t)/N \cdot \Delta t,$$

где $\Delta n(t)$ – число отказавших изделий на участке времени $(t, t + \Delta t)$; $f(t)$ – статистическая оценка частоты отказов изделия; Δt – интервал времени.

Интенсивность отказов по статистическим данным об отказах определяется формулой:

$$\lambda(t) = \Delta n(t)/\Delta t - n(t),$$

где $n(t)$ – число изделий, не отказавших к моменту времени t ; $\Delta n(t)$ – число отказавших изделий на участке времени $(t, t + \Delta t)$; $\lambda(t)$ – статистическая оценка интенсивности отказов изделия.

Среднее время безотказной работы изделия по статистическим данным оценивается выражением:

$$m_i = 1/N \cdot \sum t_i, \quad (1.3)$$

где t_i – время безотказной работы i -го изделия; N – общее число изделий, поставленных на испытания; m_i – статистическая оценка среднего времени безотказной работы изделия.

Для определения m_i по формуле (1.3) необходимо знать моменты выхода из строя всех N изделий.

Можно определять m_i из уравнения:

$$m_i \approx \sum n_i \cdot t_{cp},$$

где n_i – количество вышедших из строя изделий в i -м интервале времени; $t_{cp} = (t_i - 1 + t_i)/2$; $m = t_k/\Delta t$; $\Delta t = t_i + 1 - t_i$; $t_i - 1$ – время начала i -го интервала; t_i – время конца i -го интервала; t_k – время, в течение которого вышли из строя все изделия.

Пример выполнения задания

На испытание поставлено 1500 изделий. За период 2500 часов отказало 70 изделий.

Требуется определить вероятность безотказной работы $P(t)$, провести статистическую оценку вероятности отказа изделия $q(t)$ при времени работы $t = 2500$ час.

Решение. В данном случае $N = 1500$; $n(t) = 1500 - 70 = 1430$.

По формулам (1.1) и (1.2) определяем вероятность безотказной работы и вероятность отказа изделия для периода времени 2500 часов:

$$P(t) = P(2500) = 1430/1500 = 0,95;$$

$$q(t) = q(2500) = 70/1500 = 0,046.$$

Вывод: надежность рассматриваемой системы высокая.

Таблица 1.1

Оценка надежности системы по значению безотказной работы

Вероятность безотказной работы $P(t)$	Степень надежности системы
0,95–0,99	Высокая
0,65–0,95	Средняя
Менее 0,65	Низкая

Примечание: приведенная шкала является условной.

Таблица 1.2

Исходные данные для вычисления статистической оценки
вероятности безотказной работы изделия $P(t)$
и вероятности отказа $q(t)$

Номер варианта	Количество изделий	Период времени, часов	Количество отказавших изделий
1	2000	1200	70
2	3700	1000	67
3	4300	600	55
4	2500	500	25
5	1500	2500	12
6	1600	2000	90
7	1000	600	100
8	3500	3000	15
9	4000	1000	50
10	5000	1500	500
11	1500	1200	60
12	2000	800	98
13	3000	2300	278
14	2100	1000	50
15	2450	1000	100
16	3000	3250	150
17	1100	3200	65
18	900	700	5
19	1000	2000	25
20	500	2500	100

Номер варианта	Количество изделий	Период времени, часов	Количество отказавших изделий
21	3000	3200	70
22	3200	1500	790
23	1700	2000	84
24	1250	1000	16
25	2300	1500	620
26	1000	500	457
27	1400	700	236
28	1200	1000	230
29	1100	1300	651
30	1700	1200	200
31	2300	1100	15
32	2100	800	2
33	2700	900	17
34	2550	3000	890
35	4150	1600	567
36	4120	2500	1219
37	3200	1000	100
38	3150	100	342
39	4170	950	15
40	5000	3000	247
41	500	2500	321
42	4240	2600	125
43	2750	1700	168
44	3000	1900	169
45	3100	1800	33
46	3200	2000	18
47	2450	1000	12
48	3450	600	120
49	1000	200	2
50	1100	100	15

Практическое задание 2

Аналитическое определение количественных характеристик надёжности изделия

Цель: научиться определять количественные характеристики надёжности изделия.

Задание: вычислить количественные характеристики надёжности.

Алгоритм выполнения задания

1. Выбрать вариант задания (табл. 2.2).
2. Вычислить вероятность безотказной работы.
3. Вычислить вероятность отказа.
4. Вычислить частоту отказов.
5. Вычислить среднее время безотказной работы.
6. Сделать вывод о надёжности технической системы (табл. 2.1).

Студент произвольно выбирает вариант согласно табл. 2.2.

Теоретические сведения

Выпишем формулы, по которым определяются количественные характеристики надёжности изделия:

$$p(t) = 1 - \int f(t)dt, \quad (2.1)$$

$$q(t) = 1 - p(t), \quad (2.2)$$

$$f(t) = -dp(t)/dt, \quad (2.3)$$

$$\lambda(t) = f(t)/p(t), \quad (2.4)$$

где $p(t)$ – вероятность безотказной работы изделия на интервале времени от 0 до t ; $q(t)$ – вероятность отказа изделия на интервале времени от 0 до t ; $f(t)$ – частота отказов изделия или плотность вероятности времени безотказной работы T ; $\lambda(t)$ – интенсивность отказов изделия.

Формулы (2.1)–(2.4) для экспоненциального закона распределения времени безотказной работы изделия примут вид:

$$p(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2.5)$$

$$q(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (2.6)$$

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}, \quad (2.7)$$

$$\lambda(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} / e^{-\lambda t} = \lambda,$$

$$m_t = 1/\lambda, \quad (2.8)$$

где m_t – среднее время безотказной работы изделия.

Пример выполнения задания

Время работы элемента до отказа подчинено экспоненциальному закону распределения с параметром $\lambda = 2,5 \cdot 10^{-5}$ 1/час.

Требуется вычислить количественные характеристики надежности элемента: $p(t)$ – вероятность безотказной работы изделия на интервале времени от 0 до t ; $q(t)$ – вероятность отказа изделия на интервале времени от 0 до t ; $f(t)$ – частота отказов изделия или плотность вероятности времени безотказной работы T ; m_t – среднее время безотказной работы изделия для $t = 1000$ час.

Решение. Используем формулы (2.5), (2.6), (2.7), (2.8) для $p(t)$, $q(t)$, $f(t)$, m_t .

1. Вычисляем вероятность безотказной работы по формуле (2.5):

$$p(t) = e^{-\lambda t} = e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1000}.$$

2. Вычисляем вероятность отказа $q(1000)$ по формуле (2.6):

$$q(1000) = 1 - p(1000) = 0,0247.$$

3. Вычисляем частоту отказов по формуле (2.7):

$$f(t) = \lambda(t) \cdot e^{-\lambda t} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1000} = 2,439 \cdot 10^{-5}.$$

4. Вычисляем среднее время безотказной работы по формуле (2.8):

$$m_t = 1/\lambda = 1/2,5 \cdot 10^{-5} = 40\,000 \text{ час.}$$

Вывод: рассматриваемая система имеет высокую степень надежности.

Таблица 2.1

Оценка надежности системы

Значение среднего времени безотказной работы системы	Степень надежности системы
Менее 300 часов	Низкая
300–1000 часов	Средняя
1000 и более часов	Высокая

Примечание: приведенная шкала является условной.

Таблица 2.2

Исходные данные для вычисления количественных характеристик надежности изделия

Номер варианта	Интенсивность отказов λ , 1/час	Период времени t , час.
1	$2,6 \cdot 10^{-5}$	1000
2	$3,1 \cdot 10^{-5}$	1000
3	$2,7 \cdot 10^{-5}$	1000
4	$2,4 \cdot 10^{-5}$	1000
5	$1,9 \cdot 10^{-5}$	1000
6	$2,0 \cdot 10^{-5}$	1000
7	$2,1 \cdot 10^{-5}$	1000
8	$2,22 \cdot 10^{-5}$	1000
9	$2,51 \cdot 10^{-5}$	1000
10	$2,32 \cdot 10^{-5}$	1000
11	$2,16 \cdot 10^{-5}$	1000
12	$2,42 \cdot 10^{-5}$	1000
13	$2,8 \cdot 10^{-5}$	1000
14	$2,81 \cdot 10^{-5}$	1000
15	$2,23 \cdot 10^{-5}$	1000
16	$2,9 \cdot 10^{-5}$	1000
17	$2,8 \cdot 10^{-5}$	1000
18	$2,82 \cdot 10^{-5}$	1000
19	$2,94 \cdot 10^{-5}$	1000
20	$2,5 \cdot 10^{-5}$	1000
21	$2,66 \cdot 10^{-5}$	1000
22	$2,64 \cdot 10^{-5}$	1000
23	$2,94 \cdot 10^{-5}$	1000
24	$2,11 \cdot 10^{-5}$	1000
25	$2,08 \cdot 10^{-5}$	1000
26	$3,25 \cdot 10^{-5}$	1000
27	$2,88 \cdot 10^{-5}$	1000
28	$1,24 \cdot 10^{-5}$	1000

Номер варианта	Интенсивность отказов λ , 1/час	Период времени t , час.
29	$1,78 \cdot 10^{-5}$	1000
30	$1,90 \cdot 10^{-5}$	1000
31	$1,99 \cdot 10^{-5}$	1000
32	$2,03 \cdot 10^{-5}$	1000
33	$3,01 \cdot 10^{-5}$	1000
34	$2,89 \cdot 10^{-5}$	1000
35	$2,04 \cdot 10^{-5}$	1000
36	$2,87 \cdot 10^{-5}$	1000
37	$3,12 \cdot 10^{-5}$	1000
38	$2,45 \cdot 10^{-5}$	1000
39	$1,98 \cdot 10^{-5}$	1000
40	$1,77 \cdot 10^{-5}$	1000
41	$1,94 \cdot 10^{-5}$	1000
42	$2,56 \cdot 10^{-5}$	1000
43	$2,76 \cdot 10^{-5}$	1000
44	$3,05 \cdot 10^{-5}$	1000
45	$2,04 \cdot 10^{-5}$	1000
46	$1,08 \cdot 10^{-5}$	1000
47	$1,88 \cdot 10^{-5}$	1000
48	$2,15 \cdot 10^{-5}$	1000
49	$3,16 \cdot 10^{-5}$	1000
50	$2,00 \cdot 10^{-5}$	1000

Практическое задание 3

Последовательное соединение элементов в систему

Цель: получить навыки определения надежности систем с последовательным соединением элементов.

Задание: определить надежность системы с последовательным соединением элементов.

Алгоритм выполнения задания

1. Выбрать номер варианта по табл. 3.2.
2. Определить интенсивность отказов элементов системы.
3. Определить интенсивность отказов системы.
4. Определить среднее время безотказной работы системы.
5. Сделать вывод о надежности системы (табл. 3.1).

Студент произвольно выбирает вариант согласно табл. 3.2.

Теоретические сведения

Соединение элементов называется последовательным, если отказ хотя бы одного элемента приводит к отказу всей системы. Система последовательно соединенных элементов работоспособна тогда, когда работоспособны все ее элементы.

Вероятность безотказной работы системы за время t определяется формулой:

$$P_c(t) = P_1(t) \cdot P_2(t), \dots, P_n(t) = \prod P_i(t),$$

где $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента за время t .

Если $P_i(t) = P(t)$, то $P_c(t) = P_n(t)$.

Интенсивность отказов системы определяется формулой:

$$\lambda_c = \sum \lambda_i(t),$$

где $\lambda_i(t)$ – интенсивность отказов i -го элемента; $\lambda_c(t)$ – интенсивность отказов системы.

Вероятность отказа системы на интервале времени $(0, t)$ равна:

$$q_c = 1 - \prod P_i(t).$$

Частота отказов системы $f_c(t)$ определяется соотношением:

$$f_c = dP_c(t)/dt.$$

Интенсивность отказов системы определяется и по следующей формуле:

$$\lambda_c = f_c(t)/P_c(t).$$

Среднее время безотказной работы системы определяется формулой:

$$m_{ic} = \int P_c(t) dt.$$

В случае экспоненциального закона надежности всех элементов системы имеем:

$$\begin{aligned}\lambda_i(t) &= \lambda_i, \\ \lambda_c(t) &= \sum \lambda_i = \lambda_c, \\ P_i(t) &= \exp(-\lambda t), \\ P_c(t) &= e^{-\lambda t}, \\ f_c(t) &= \lambda_c \cdot e^{-\lambda t}, \\ q_c(t) &= 1 - e^{-\lambda t}, \\ m_{ic} &= 1/\lambda_i.\end{aligned}\tag{3.1}$$
$$\tag{3.2}$$

При расчете надежности систем часто приходится перемножать вероятности безотказной работы отдельных элементов расчета, возводить их в степень и извлекать корни. При значениях $P(t)$, близких к единице, эти вычисления можно с достаточной для практики точностью выполнять по приближенным формулам.

Пример выполнения задания

Система состоит из трех блоков, среднее время безотказной работы которых равно $m_{i1} = 130$ час.; $m_{i2} = 310$ час.; $m_{i3} = 660$ час. Для блоков справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется определить среднее время безотказной работы системы.

Решение. Воспользовавшись формулой (3.2), получим значение интенсивности отказов элементов системы:

$$\lambda_1 = 1/m_{i1} = 1/130, \quad \lambda_2 = 1/m_{i2} = 1/310, \quad \lambda_3 = 1/m_{i3} = 1/660,$$

где λ_1 – интенсивность отказов 1-го блока; λ_2 – интенсивность отказов 2-го блока; λ_3 – интенсивность отказов 3-го блока.

На основании формулы (3.1) получим интенсивность отказов системы:

$$\lambda_c = 1/130 + 1/310 + 1/660 = 0,01231/\text{час.}$$

На основании формулы (3.2) получим среднее время безотказной работы системы: $m_c = 1/\lambda_c \approx 1/0,0123 \approx 81$ час.

Вывод: надежность системы низкая.

Таблица 3.1

Оценка надежности системы

Значение среднего времени безотказной работы системы	Степень надежности системы
Менее 300 часов	Низкая
300–1000 часов	Средняя
1000 и более часов	Высокая

Примечание: приведенная шкала является условной.

Таблица 3.2

Исходные данные для определения надежности систем с последовательным соединением элементов

Номер варианта	Количество блоков системы	Среднее время безотказной работы, m , час.
1	3	140; 150; 200
2	4	290; 120; 175; 250
3	4	450; 180; 330; 570
4	5	650; 240; 760; 430; 210
5	3	215; 200; 580
6	5	650; 820; 450; 700; 200
7	6	300; 850; 500; 890; 690; 310
8	6	470; 580; 990; 750; 100; 400
9	4	540; 680; 290; 310
10	5	900; 760; 340; 230; 740
11	5	750; 580; 940; 260; 700
12	3	860; 740; 600
13	3	650; 880; 920
14	4	550; 640; 490; 700
15	6	720; 860; 540; 910; 690; 600
16	5	760; 900; 880; 590; 600
17	4	980; 540; 430; 100

Номер варианта	Количество блоков системы	Среднее время безотказной работы, t_p , час.
18	3	120; 340; 530
19	3	690; 770; 800
20	4	990; 650; 430; 680
21	5	340; 560; 890; 210; 250
22	5	640; 280; 130; 140; 800
23	4	560; 250; 700; 430
24	3	500; 440; 110; 850
25	5	590; 420; 680; 690; 160
26	4	760; 238; 129; 100
27	3	100; 120; 130
28	5	750; 459; 231; 348; 980
29	4	569; 770; 110; 123
30	3	900; 760; 111
31	6	227; 349; 134; 187; 900; 750
32	5	444; 256; 340; 121; 356
33	3	800; 466; 583
34	4	980; 346; 790; 300
35	3	200; 166; 800
36	5	256; 980; 165; 700; 320
37	4	300; 580; 225; 179
38	3	500; 720; 800
39	5	165; 168; 789; 340; 200
40	6	980; 675; 888; 235; 100; 115
41	4	356; 126; 900; 320
42	3	480; 250; 340
43	5	568; 228; 761; 666; 200
44	4	740; 920; 180; 160
45	6	220; 340; 134; 167; 904; 907
46	5	300; 250; 179; 170; 304
47	4	309; 155; 186; 489
48	4	887; 716; 229; 100
49	6	728; 860; 545; 910; 690; 603
50	5	304; 565; 890; 210; 259

Практическое задание 4

Расчет надежности системы с постоянным резервированием

Цель: получить навыки определения надежности систем с постоянным резервированием.

Задание: определить надежность системы с постоянным резервированием.

Алгоритм выполнения задания

1. Выбрать вариант выполнения расчетов (табл. 4.2).
2. Определить интенсивность отказов системы.
3. Определить время безотказной работы.
4. Найти частоту отказов системы.
5. Сделать вывод о надежности систем, проведя анализ продолжительности безотказной работы (табл. 4.1).

Студент произвольно выбирает вариант согласно табл. 4.2.

Теоретические сведения

При постоянном резервировании резервные элементы 1, 2 и т. д. соединены параллельно с основным элементом в течение всего периода работы системы. Все элементы соединены постоянно, перестройка схемы при отказах не происходит, отказавший элемент не отключается.

Вероятность отказа системы $q_c(t)$ определяется формулой:

$$q_c(t) = \prod q_j(t),$$

где $q_j(t)$ – вероятность отказа j -го элемента.

Вероятность безотказной работы системы рассчитывается формулой:

$$P_c(t) = 1 - \prod (1 - P_j(t)),$$

где $P_j(t)$ – вероятность безотказной работы j -го элемента.

При экспоненциальном законе надежности отдельных элементов имеем:

$$P_j(t) = P(t) = e^{-\lambda t},$$
$$q_c(t) = (1 - e^{-\lambda t})^{m+1},$$

$$P_c(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1},$$

$$m_i = 1/\lambda_c.$$

Резервирование называется общим, если резервируется вся система, состоящая из последовательного соединения n элементов.

Основная цепь содержит n элементов. Число резервных цепей равно m , т. е. кратность резервирования равна m .

Определим количественные характеристики надежности системы с общим резервированием (резервные цепи включены постоянно).

Вероятность безотказной работы j -й цепи:

$$P_j(t) = \prod_{ij} P_{ij}(t),$$

где $j = 0, 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Вероятность отказа j -й цепи:

$$q_c(t) = 1 - \prod_{ij} P_{ij}(t).$$

Рассмотрим экспоненциальный закон надежности, т. е.:

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t}.$$

Тогда приведенные выше формулы примут вид:

$$q_c(t) = (1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1},$$

$$P_c(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1},$$

$$\lambda = \sum \lambda_i,$$

где λ — интенсивность отказов цепи, состоящей из n элементов.

Частота отказов системы с общим резервированием:

$$f_c(t) = dp_c(t)/dt = \lambda_0 (m+1)^{-\lambda_0 t} (1 - e^{-\lambda_0 t})^m.$$

Интенсивность отказов системы с общим резервированием:

$$\lambda = f_c(t)/P_c(t). \quad (4.1)$$

Среднее время безотказной работы резервированной системы:

$$m_i = T_0 \sum 1/1 + j,$$

где $T_0 = 1/\lambda_0$ — среднее время безотказной работы резервированной системы.

Пример выполнения задания

Рассчитать интенсивность отказов системы с общим резервированием при экспоненциальном законе надежности.

Частота отказов составляет $6 \cdot 10^{-3}$ 1/час, вероятность безотказной работы 0,9.

По формуле (4.1) определяем интенсивность отказов системы:

$$\lambda = f_c(t)/P_c(t) = 6 \cdot 10^{-3}/0,9 = 0,0067.$$

Вывод: надежность рассматриваемой системы (табл. 4.1) высокая.

Таблица 4.1

Оценка надежности системы

Значение интенсивности отказов системы	Степень надежности системы
Выше 0,0065	Высокая
0,060–0,0065	Средняя
0,6–0,06	Низкая

Примечание: приведенная шкала является условной.

Таблица 4.2

Исходные данные для определения расчета надежности системы с общим резервированием

Номер варианта	Частота отказов, 1/час	Вероятность безотказной работы
1	$5 \cdot 10^{-5}$	0,98
2	$10 \cdot 10^{-3}$	0,9
3	$6 \cdot 10^{-3}$	0,77
4	$8 \cdot 10^{-4}$	0,98
5	$10 \cdot 10^{-4}$	0,79
6	$4 \cdot 10^{-5}$	0,59
7	$5 \cdot 10^{-6}$	0,44
8	$6 \cdot 10^{-5}$	0,66
9	$9 \cdot 10^{-5}$	0,65
10	$10 \cdot 10^{-6}$	0,34
11	$10 \cdot 10^{-3}$	0,99
12	$8 \cdot 10^{-5}$	0,68
13	$7 \cdot 10^{-3}$	0,79
14	$5 \cdot 10^{-6}$	0,77

Номер варианта	Частота отказов, 1/час	Вероятность безотказной работы
15	$6 \cdot 10^{-4}$	0,74
16	$5 \cdot 10^{-4}$	0,69
17	$10 \cdot 10^{-4}$	0,87
18	$9 \cdot 10^{-3}$	0,85
19	$6 \cdot 10^{-5}$	0,91
20	$5 \cdot 10^{-5}$	0,84
21	$4 \cdot 10^{-4}$	0,92
22	$9 \cdot 10^{-4}$	0,78
23	$5 \cdot 10^{-3}$	0,65
24	$10 \cdot 10^{-5}$	0,81
25	$8 \cdot 10^{-6}$	0,9
26	$6 \cdot 10^{-6}$	0,67
27	$3 \cdot 10^{-4}$	0,93
28	$2 \cdot 10^{-4}$	0,84
29	$10 \cdot 10^{-3}$	0,87
30	$5 \cdot 10^{-6}$	0,76
31	$4 \cdot 10^{-5}$	0,56
32	$5 \cdot 10^{-5}$	0,98
33	$5 \cdot 10^{-4}$	0,7
34	$6 \cdot 10^{-3}$	0,61
35	$8 \cdot 10^{-6}$	0,6
36	$3 \cdot 10^{-5}$	0,72
37	$3 \cdot 10^{-4}$	0,76
38	$6 \cdot 10^{-4}$	0,84
39	$4 \cdot 10^{-5}$	0,93
40	$7 \cdot 10^{-3}$	0,8
41	$9 \cdot 10^{-6}$	0,88
42	$5 \cdot 10^{-4}$	0,7
43	$7 \cdot 10^{-3}$	0,9
44	$2 \cdot 10^{-5}$	0,62
45	$10 \cdot 10^{-4}$	0,96
46	$4 \cdot 10^{-3}$	0,87
47	$3 \cdot 10^{-3}$	0,97
48	$5 \cdot 10^{-5}$	0,9
49	$6 \cdot 10^{-6}$	0,73
50	$5 \cdot 10^{-5}$	0,88

Практическое задание 5

Анализ надежности систем с применением методики «Диверсионный анализ»

Цель: получить практические навыки проведения оценки риска и возникновения чрезвычайных ситуаций, вредных и нежелательных явлений.

Задание: провести оценку риска возникновения чрезвычайных ситуаций, вредных и нежелательных явлений.

Алгоритм выполнения задания

1. Выбор варианта с технологическим процессом (прил. 1).
2. Формулирование диверсионной задачи.
3. Поиск известных способов создания чрезвычайных ситуаций, вредных и нежелательных явлений.
4. Паспортизация использования ресурсов.
5. Поиск вредных эффектов по информационным фондам.
6. Поиск возможностей усиления вредного эффекта.
7. «Маскировка» вредных явлений.
8. Анализ выявленных вредных эффектов.
9. Устранение вредных эффектов.
10. Оформление результатов оценки риска в виде отчетных таблиц (табл. 5.3–5.7).

Вариант технологического процесса выбирается произвольно с учетом предпочтительной специализации из прил. 1. При выборе варианта технологического процесса следует учесть, что данный вариант является окончательным и не подлежит смене по ходу выполнения практических работ 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14.

Теоретические сведения

1. Формулирование диверсионной задачи

1.1. Записать условие исходной задачи по схеме:

«Дана (указать – техническая или природная) система (указать название и, если возможно, основную функцию). Необходимо найти и устранить возможность появления чрезвычайных ситуаций, вредных и нежелательных явлений, связанных с данной системой».

1.2. Преобразовать задачу в диверсионную, записав ее по схеме:

«Дана (указать – техническая или природная) система (указать название и, если возможно, основную функцию). Необходимо СОЗДАТЬ возможность появления чрезвычайных ситуаций, вредных и нежелательных явлений, связанных с данной системой».

2. Поиск известных способов создания чрезвычайных ситуаций, вредных и нежелательных явлений

2.1. Осуществить систематизацию информации по системе: выполнить рисунок (схему) системы, назвать обозначенные на рисунке элементы, описать их связь в статике и функционировании. Кроме того, перечислить системы, с которыми данная система взаимодействует (в том числе окружающую среду и надсистемы, в которые данная система входит).

2.2. Выписать основные параметры нормального функционирования системы: вредные и нежелательные явления, характерные для систем данного или близкого к данному вида, определить возможность их реализации.

2.3. Рассмотреть типовые способы вредных воздействий на человека, технические и природные системы (перечень 1), определить возможности и условия их реализации.

2.4. Рассмотреть типовые результаты вредных воздействий на человека, другие системы (перечень 2), определить возможности и условия их реализации.

2.5. Рассмотреть разные стадии жизненного цикла изделия (табл. 5.1) и развития аварий (табл. 5.2), определить возможности и условия реализации вредных явлений.

Таблица 5.1

Инструменты предотвращения аварий на разных этапах жизненного цикла изделия

Этап жизненного цикла	Содержание	Опасность	Инструмент ТРИЗ
1. Проектный	Разработка изделия, его технологии, экспериментальная проверка, испытания, подготовка производства	Закладывается возможность всех будущих аварий из-за недостатка информации или несистемного подхода	Диверсионный прогноз

Этап жизненного цикла	Содержание	Опасность	Инструмент ТРИЗ
2. Технологический	Изготовление изделия, его транспортировка, продажа, монтаж на месте, пуск в работу	Закладываются возможности будущих аварий из-за побочных следствий нормальных технологических процессов или отклонений от допустимых параметров этих процессов. Аварии в техпроцессе	Диверсионный прогноз, решение задач на обнаружение отклонений и выявление их причин. Функционально-стоимостной анализ технологии
3. Эксплуатационный	Эксплуатация изделия, его нормальное функционирование	Создание условий для аварий при нормальных эксплуатационных условиях и нагрузках, нормальном обслуживании или из-за отклонений от нормы. Вредное влияние на себя, другие системы, среду	Решение задач на обнаружение отклонений. Функционально-стоимостной анализ эксплуатации
4. Ремонтный	Исправление нарушений в работе. Плановые и неплановые, текущие или капитальные ремонты	Создание аварий как за счет нормальных ремонтных работ, так и за счет их некачественного выполнения	Диверсионный прогноз, функционально-стоимостной анализ ремонта
5. Утилизация	Демонтаж изделия, использование его деталей, материалов и т. п.	Создание аварий при демонтажных работах	Диверсионный прогноз, функционально-стоимостной анализ демонтажа

Таблица 5.2

**Инструменты предотвращения аварий на разных стадиях
развития аварии**

Стадия	Содержание	Задача	Инструмент ТРИЗ
1. Подготовительная (скрытая)	Появление малых отклонений, нарушений, не выходящих за пределы нормы, но проявляющих тенденции к увеличению частоты и амплитуды или одностороннему приближению к границам допустимого	Ранняя диагностика аварий. Обнаружение первых признаков неблагополучия	Диверсионный прогноз. Стандарты на обнаружение и измерение. Методика решения исследовательских задач
2. Начальная (появление первых «звоночков»)	Появление немногочисленных мелких нарушений, рост их числа, необходимость «штопки дыр»	Выявление действительных причин нарушений, неблагополучия. Поиск мер предотвращения серьезных аварий	Диверсионный прогноз. Методика решения исследовательских задач. Инструменты ТРИЗ
3. Собственно авария	Новый, непредусмотренный процесс (чаще разрушения)	Лавинообразное нарастание нежелательных эффектов. Прекращение аварийного процесса, спасение людей, уменьшение материального ущерба	Сценарии аварии, разработанные заранее на базе деловых игр по ТРИЗ
4. Срочные послеаварийные действия	Локальные аварии, уменьшение последствий, спасение людей, налаживание послеаварийного существования. Уменьшение материального ущерба	Решение творческих задач восстановительных и ликвидационных работ в условиях дефицита времени и ресурсов	Инструменты экспресс-поиска по ТРИЗ
5. Длительные работы по ликвидации последствий аварии и восстановлению	Восстановление аварийной ситуации, исключение возможности повторения аварии	Решение творческих задач в процессе восстановительных работ	Комплект инструментов ТРИЗ

Стадия	Содержание	Задача	Инструмент ТРИЗ
6. Анализ аварии	Выявление причин и условий возникновения аварии, поиск мероприятий по недопущению аварий	Выявление действительных скрытых причин аварии, решение творческих задач по исключению аварий	Методология решения исследовательских задач, диверсионный прогноз. Комплекс инструментов ТРИЗ

3. Паспортизация использования ресурсов

3.1. Рассмотреть типовые опасные зоны («болевые точки» и «уязвимые места») системы (перечень 3) и типовые опасные моменты в «жизни» системы (перечень 4), определить возможность возникновения в этих зонах и в эти моменты вредных явлений и условия их реализации.

3.2. Рассмотреть ресурсы системы, выявить те из них, которые способны обеспечить появление вредных эффектов (перечень 5), определить возможность и условия реализации вредных эффектов за счет ресурсов.

3.3. Рассмотреть источники повышенной опасности (перечень 6), выявить те из них, которые имеются в системе и способны обеспечить появление вредных эффектов, определить возможность и условия реализации вредных эффектов.

3.4. Рассмотреть, какие полезные потоки (вещества, энергии, информации) имеются в системе, какие нарушения этих потоков могут возникнуть (перечень 7) и какие вредные эффекты они способны вызвать.

4. Поиск вредных эффектов по информационным фондам

4.1. Рассмотреть список типовых ошибок в развитии технических систем (перечень 8), выбрать из них те, которые могли бы быть реализованы в данной системе и дать вредные эффекты. Определить условия их реализации.

4.2. Рассмотреть список типовых причин вредных эффектов (перечень 9), выбрать из них те, которые могли бы быть реализованы в данной системе и дать вредные эффекты. Определить условия их реализации.

5. Поиск возможностей усиления вредного эффекта

Рассмотреть список типовых способов усиления вредных эффектов (перечень 10), выбрать из них те, которые могут быть реализованы в данной системе. Определить условия их реализации.

6. «Маскировка» вредных явлений

Рассмотреть типовые способы «маскировки» вредных явлений (перечень 11) и возможность их приложения к эффектам, выявленным на предыдущих шагах.

7. Анализ выявленных вредных эффектов

7.1. Определить, какие из выявленных на предыдущих шагах вредных эффектов имеют место в реальности.

7.2. Оценить для каждого эффекта вероятность его проявления, степень опасности, нежелательности. Для всех выявленных видов аварий ответить на вопросы: «Кто (конкретные люди) и что (конкретные устройства, элементы) может вызвать аварию? Как?», «Кто и что может пострадать от аварии? Как?».

8. Устранение вредных эффектов

8.1. Выявить первичные вредные эффекты, причины кризисов, нежелательные обратные связи, рассмотреть возможность их устранения с использованием типовых средств предотвращения (перечень 12).

8.2. Выявить причины появления вредных эффектов, рассмотреть мероприятия, необходимые для устранения этих причин.

Перечень 1. Типовые способы вредных воздействий на различные системы (в том числе на человека)

1. Вредное воздействие непосредственное:

1.1. Механические действия: удары, толчки, перепады давления, инерционные силы, механические напряжения, вибрации, акустические воздействия и т. п.

1.2. Тепловые действия: нагрев (перегрев), охлаждение (переохлаждение), тепловые перепады (градиенты) в пространстве и времени.

1.3. Химические действия: разложение нужных веществ, синтез ненужных (вредных) веществ, каталитические и ингибиторные реакции, недостаток тех или иных веществ, нарушение химического равновесия нормального химического взаимодействия (обмена веществ) и т. п.

1.4. Электрические воздействия: действие электрического поля, разрядов, электрического тока.

1.5. Магнитные воздействия: возникновение либо потеря намагниченности.

1.6. Биологические воздействия: действия живых организмов (вирусов, бактерий, паразитов), канцерогенное, тератогенное, мутагенное и аллергическое действие на живые организмы.

1.7. Электромагнитные воздействия: разного рода излучения, радиоволны, СВЧ, свет, ультрафиолет, рентгеновские, гамма-излучения и т. п.

1.8. Информационные воздействия: недостаток информации, избыток информации, ложная информация (в том числе слухи), нарушение нормального информационного взаимодействия.

1.9. Психические и эмоциональные воздействия (только для человека):

- угроза жизни, физиологическим потребностям;
- угроза продолжению рода;
- угроза здоровью, способу существования;
- угроза репутации, взаимоотношениям с другими, чувству собственного достоинства;
- скука, недостаток впечатлений, сенсорный голод.

2. Вредное воздействие опосредованное (через внешнюю среду):

2.1. Ухудшение природных систем: загрязнение воды, почвы, продуктов питания, воздуха вредными веществами; снижение плодородия почвы, сокращение пригодного для жизни пространства и т. п.

2.2. Нарушение биоценозов, биоценотического равновесия: размножение одних (вредных) и сокращение других (полезных) биологических видов, эволюция различных видов в нежелательном направлении и т. п.

2.3. Создание в окружающей среде техногенных и антропогенных процессов, стимулирующих вредные эффекты.

2.4. Сокращение, снижение качества невозполнимых природных ресурсов, необходимых для существования людей и развития техники.

3. Вредное воздействие опосредованное (через технические системы – ТС):

3.1. Взаимодействие ТС с человеком: неверное направление развития ТС, некачественное изготовление или эксплуатация, умышленные или случайные повреждения.

3.2. Взаимодействие разных ТС: аварии (столкновения, целенаправленное разрушение – военная техника), системные эффекты при взаимодействиях, действие помех и отходов одних систем на другие.

Перечень 2. Типовые результаты вредных воздействий

1. На человека:

1.1. Физические нарушения: травмы, нарушения здоровья, снижение срока жизни, повреждение генофонда и т. п.

1.2. Психические нарушения: психические болезни, комплексы, депрессия, деформация системы ценностей, снижение волевых качеств, конформизм, нравственные деформации и т. п.

1.3. Эмоциональные нарушения: создание стрессов, снижение степени удовлетворенности жизнью, нарушение эмоционального баланса и т. п.

1.4. Социальные нарушения: разрушение различных связей между людьми (родственных, дружеских, профессиональных, трудовых и т. п.), нарушение структуры общества, введение разного рода дискриминаций и т. п.

1.5. Интеллектуальные нарушения: рост психологической инерции, приверженность к догмам и стереотипам, общее снижение интеллектуальных способностей (нарушение логического мышления, памяти, способности к критическому восприятию и т. п.), нарушение способности к творчеству и снижение потребности в нем, искажение информации и способности ее восприятия и обработки, а следовательно, и способности ориентироваться в жизни и т. п.

Перечень 3. Типовые опасные зоны систем

1. Зоны концентрации проходящих через систему потоков вещества, энергии (механические усилия, электрические перенапряжения и т. п.), информации.

2. Зоны, подверженные действию полей высокой интенсивности: вибраций, знакопеременных нагрузок, трения, высоких температур, активных химических веществ и т. п.

3. Зоны и узлы, выполняющие большое количество разных функций.

4. Зоны стыковки разных систем (подсистем), в особенности спроектированных, выпускаемых, эксплуатируемых или подводомственных разным лицам, подразделениям, организациям.

5. Зоны контакта инструмента и изделия (равноопасны для инструмента и для изделия).

6. Зоны, к которым предъявляются противоречивые требования (имеются неразрешенные, неустраненные противоречия).

7. Зоны, в которых уже происходят те или иные вредные явления (аварии), подвергавшиеся ранее исправлениям, восстановлению, ремонту и т. п.

8. Зоны, в которых ответственные решения должны приниматься в условиях высокой неопределенности, недостатка информации (в стрессовых обстоятельствах) и т. п.

9. Зоны, узлы, подсистемы обработки информации и выработки команд управления.

Перечень 4. Типовые опасные моменты в развитии и функционировании систем

1. Моменты нарушения монотонности работы: дни после и перед отпуском, часы в начале и конце работы (особенно предрассветные часы), перед и после перерыва.

2. Моменты больших общих стрессов: серьезные изменения технологии, реорганизация коллектива, праздники и предпраздничная подготовка, предпраздничная уборка, визиты высокого начальства («визит-эффект»), пересменки и т. п.

3. Моменты появления большого количества новых людей: приход практикантов, смена экипажа.

4. Моменты неблагополучия: общего — значительных перемен в жизни общества, коллектива и т. п. и частного — перемен и стрессов в жизни данного человека.

5. Моменты после произошедших аварий, неудач и т. п., время развертывания «цепочки неприятностей», моменты «сгущения неприятностей».

6. Моменты разного рода проверок, испытаний.

Перечень 5. Ресурсы, способные обеспечить появление вредных эффектов

1. Вещественные: вещества, имеющиеся в системе и надсистеме, в том числе вспомогательные (смазка), сырье, продукция, отходы, вещества из окружающей среды (воздух, влажность, пыль и т. п.), примеси и модификации всех этих веществ.

2. Энергетические: потоки энергии (тепловой, электромагнитной и т. п.), имеющиеся в системе и надсистеме, в окружающей среде (гравитационное поле, атмосферное давление и т. п.), их модификации.

3. Информационные: вредная информация, дезинформация, заставляющая принимать неверные решения. При этом неточная информация иногда оказывает более вредный эффект, чем полное ее отсутствие.

4. Пространственные: незанятое или не полностью занятое место в системе, надсистеме или окружающей среде.

5. Временные: различные отрезки времени в процессе подготовки к функционированию, функционирования и после него самой системы, ее надсистемы.

6. Функциональные: способность системы, ее подсистем, надсистемы, окружающей среды выполнять по совместительству новые, непредусмотренные функции.

7. Системные: эффекты, возникающие благодаря взаимодействию двух или более систем между собой, в том числе и при синергетическом взаимодействии нескольких видов ресурсов. Элементы, годные для данной системы, но опасные для других, с ней взаимодействующих, хотя бы в особых условиях.

8. Ресурсы изменения: различного рода изменения, происходящие в системе, надсистеме, окружающей среде и т. п. в результате целенаправленных действий или самопроизвольно, а также любые последствия и результаты этих изменений.

9. Дифференциальные: разница параметров и характеристик, способная создать различные ненужные или опасные потоки (разница температур, давлений, напряжения и т. п.).

10. Собственные: специфические особенности и свойства, характерные именно для данной системы и ее подсистем: особые хи-

мические, физические, геометрические и другие свойства, например, резонансные частоты, намагниченность, радиоактивность, прозрачность для определенных частот и т. п. Способности системы и ее подсистем проявлять нелинейные свойства, накапливать, концентрировать и освобождать по эффекту спускового крючка различные поля и вещества, порождать отрицательные или положительные обратные связи, автоколебания и т. п.

11. Организация: имеющиеся или способные легко возникнуть вредные структуры, определенная организация, расположение или ориентация элементов, связи между ними и т. п., нарушения распределения каких-то вещественных или полевых ресурсов в пространстве или графиков их подачи.

12. Малые нарушения и отказы: сами по себе не слишком существенные, небольшие нарушения и отказы в работе, способные спровоцировать куда более опасные аварии.

13. Элементы, годные для данной системы, но опасные для других, с ней взаимодействующих, хотя бы в особых условиях.

14. Элементы, годные в условиях нормальной эксплуатации, но оказывающиеся негодными, опасными, вредными в нормальных или аварийных условиях.

15. Устройства контроля и управления, при неправильной работе оказывающиеся источниками повышенной опасности.

16. Защитные системы: противоаварийные системы, средства защиты, меры по обеспечению безопасности и т. п., при неправильной работе оказывающиеся источниками повышенной опасности.

Перечень 6. Источники повышенной опасности

1. Опасные вещества:

1.1. Опасные для людей, технических и природных объектов: горючие, взрывающиеся, нестабильные и нестойкие, химически активные (кислоты, щелочи, сильные катализаторы, морская вода, фекальные среды и т. д.), радиоактивные, способные концентрировать различные виды вещества и энергии.

1.2. Опасные для людей и других живых существ: раздражающие, едкие, токсичные, аллергенные, канцерогенные, тератогенные, психогенные (в том числе наркотические, галлюциногенные и

др.), мутагенные и т. п. В частности, любые яды и лекарства, любые вещества, способные накапливаться в организме.

2. Опасные устройства:

2.1. Устройства, способные легко использоваться в виде оружия (ударный и режущий инструмент, метательные устройства, использующиеся взрывчатые вещества и т. п.).

2.2. Устройства, связанные с высокой концентрацией опасных веществ.

2.3. Устройства, связанные с высокой концентрацией энергии, большими величинами полей: механических (устройства под давлением, грузоподъемные и т. п.), тепловых (металлургические печи, сварочные, криогенные установки и т. п.), электрических (высоковольтная техника, ЛЭП и т. д.).

2.4. Устройства, в которых встречаются опасные сочетания веществ и воздействий:

- горючие вещества и окислители (чистый кислород, воздушное дутье, химически активные компоненты и т. п.), воздействия, способные вызвать возгорание (удары, трения, искры, химические реакции и т. д.);
- горючие пыли, аэрозоли и возможность возникновения искр (из-за механических или электрических взаимодействий);
- циклические механические нагрузки и возможность механических повреждений нагруженных деталей (концентраторы);
- устройства с движущимися частями и возможность попадания в них посторонних предметов;
- механическое трение и абразивные вещества (в том числе продукты износа);
- влажность и электричество.

3. Опасные процессы:

3.1. Процессы, связанные с опасными веществами, высокой концентрацией энергии, большими величинами полей, опасными устройствами и т. д.

3.2. Процессы, при которых нарушаются структура и качество материалов системы или изделий (перегревы и переохлаждение, старение, рост зерна в стали, появление механических напряжений и повреждений и т. п.).

3.3. Непредусмотренные побочные процессы.

Перечень 7. Типовые нарушения потоков вещества, энергии и информации

1. Изменение величины потоков: прекращение, ослабление, увеличение, нарушение графиков движения.

2. Изменение направления потоков на обратное, попадание потока в непредусмотренное место, ответвление части потоков в сторону.

3. Нарушение параметров и структуры (временной или пространственной) потоков: синергетические явления, физические эффекты, сепарация потока.

4. Внешние влияния на поток: попадание в поток элементов со стороны, воздействие наружных полей.

5. Влияние потоков наружу, на систему и надсистему: нарушение каналов потоков, попадание элементов потока в наружные системы, действие полей потока на наружные системы.

Перечень 8. Типовые ошибки в развитии систем

1. Волюнтаризм (политический, технический, военный и т. п.) — убеждение, что развитие дела можно направлять и форсировать волевыми решениями. Волевое решение может в определенных условиях изменить общую траекторию развития какого-то дела, но в большинстве случаев оказывается эффективным, только если соответствует тем или иным объективным закономерностям.

2. «Без руля и без ветрил» — отсутствие планирования и управления развитием целенаправленных исследований и разработок, надежда на случайную удачу или на то, что ситуация останется неизменной.

3. Топтание на месте в развитии системы, разработка и внедрение мелких усовершенствований вместо серьезных изменений, которые требуются в соответствии с законами развития и вполне могут быть сделаны. Фактически подавляющее большинство новых решений, изобретений в связи с этим опаздывает.

4. Забегание вперед — преждевременное внедрение новых элементов, решений, не обоснованных потребностью, не согласованных с другими подсистемами.

5. Недоиспользование интеллекта и творчества — попытки решения задач и проблем, требующих творческого подхода, за счет

массовости, применения силы, повышенного финансирования, излишнего усложнения системы и т. п.

6. Недоиспользование имеющихся ресурсов для развития системы – любое развитие, улучшение системы происходят за счет тех или иных ресурсов. Однако для их использования нужно знать, что именно необходимо, как это использовать и где взять.

7. Непонимание сути и роли противоречий в развитии, попытки усилить одно из качеств системы, не считаясь с ухудшением других, совершенствование элементов системы по отдельности, без учета системных эффектов.

8. Непонимание системного характера развития, взаимосвязи и взаимозависимости развития самых разных, удаленных друг от друга отраслей науки, техники, общественной жизни, различных дел, невозможность для одного дела сильно опередить другие без развития обеспечивающих областей.

Перечень 9. Типовые причины появления вредных эффектов

1. Причины, связанные с недостатками знаний, ошибками:

1.1. Отсутствие знаний о процессах в системе, механизмов различных взаимодействий, неучет сложных цепочек причинно-следственных связей, эффектов, связанных с нелинейностью, и т. д.

1.2. Непонимание природы качественных скачков при количественных изменениях в системе, в особенности неучет масштабных факторов при массовом и крупномасштабном производстве или эксплуатации системы.

1.3. Неумение разрешать противоречия, непонимание тесной связи между полезными и вредными эффектами, попытки увеличения полезного эффекта любой ценой, при этом не учитывается рост вредных эффектов.

1.4. Непонимание природы системных эффектов, возможности появления новых системных свойств при совместной работе нескольких систем.

1.5. Отсутствие понимания, плохое понимание:

- человека человеком из-за неоднозначных слов, жестов, молчания, намерений и т. п.;
- человеком инструкций, правил, приказов и т. п.;

- человеком работы системы;
- человеком ситуации.

1.6. Отсутствие профессионализма у специалистов, проектирующих, изготавливающих, эксплуатирующих систему, принимающих ответственные решения.

1.7. Выход за границы действия принятых допущений, предположения о линейном росте характеристик за границами достоверно известного.

1.8. Неумение решать творческие задачи в обеспечении безопасности.

1.9. Псевдорационализация, сводящаяся к несогласованным между собой, несистемным улучшениям системы из чисто экономических соображений в ущерб безопасности и качеству.

1.10. Ошибки на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации системы.

2. Причины, связанные с психофизиологическими особенностями:

2.1. Недооценка опасности из-за привыкания к ее отсутствию, из-за постоянного благополучия, из-за надежды, что ничего не случится, непонимание опасности или неверие в ее возможность.

2.2. Нарушение правил техники безопасности из-за мелких выгод и удобств.

2.3. Неосторожность, халатность, «фамильярность» со сложной техникой, неумение предвидеть последствия своих действий, связанное, как правило, с недостаточным профессионализмом, отсутствие чувства ответственности за выполняемую работу, за безопасность людей.

2.4. Нежелание принимать рискованные решения, брать на себя ответственность и т. п.

2.5. Снижение внимания, скорости и точности реакций из-за усталости, монотонности, болезни и т. п.

2.6. Отсутствие физической и психологической подготовки, тренинга в работе, в критических и стрессовых обстоятельствах.

2.7. Негативное влияние поведения одного работника на остальных.

2.8. Попытки работника сделать по-своему, нарушения (по незнанию, неопытности, из лучших побуждений) правил, инструкций, стандартов и т. п.

2.9. Стремление действовать по инструкции в обстановке, этими инструкциями не предусмотренной.

2.10. Априорное убеждение, что человек себе не враг и не желает аварий.

2.11. Неумение оценивать вероятность тех или иных опасностей.

2.12. Положительная обратная связь на неудачи (каждая новая неудача повышает вероятность следующей).

2.13. Подсознательное, а иногда и сознательное желание неудачи, аварии и т. п.

2.14. Недостаточное внимание, пренебрежительное отношение к вспомогательным и подготовительным операциям.

2.15. Неверное распределение внимания, концентрация на второстепенных вопросах, мелочах в ущерб основному.

2.16. Снижение взаимного контроля работников в результате доверия при длительной совместной работе.

2.17. Противоречие между обеспечением безопасности и удобством работы, обеспечением безопасности и возможностью заработать и т. п.

2.18. Неверное обучение, закрепление навыков неправильного, небезопасного труда.

2.19. Нежелание, психологическая невозможность поверить в неприятную, опасную, неожиданную информацию.

2.20. Ошибки при совершении неэтичных, незаконных, преступных действий из-за связанного с этим стресса.

3. Причины, связанные с социальными факторами.

Комплекс тоталитарности – отношение к авариям с социальных и психологических позиций тоталитаризма. В том числе:

3.1. Уверенность в силе приказов, распоряжений, инструкций и отсюда нормативное отношение к обеспечению безопасности (написали инструкцию – значит, авария невозможна). В частности, «силовое» отношение к среде, окружению, технике и другим людям.

3.2. Ведомственная психология, групповой эгоизм. Выгодность для кого-то вредных эффектов либо невыгодность работы по их предупреждению.

3.3. Отсутствие гласности, информации о системе, связанных с ней опасностях и вредных эффектах, мерах по обеспечению безопасности. Отсутствие гласности о происходивших и происходящих авариях. Монополия отдельных людей или организаций на получение информации. В частности, склонность к наказанию «черного вестника», приводящая к усугублению аварий из-за большего страха перед начальством, чем перед аварией.

3.4. Различные запреты, налагаемые из общих, в том числе идеологических, соображений. Ограничения, не связанные со спецификой данной системы, в том числе бессмысленная стандартизация, не дающая возможности нормального функционирования и развития.

3.5. Отношение к вредным явлениям, авариям как к неизбежному злу, с которым можно до определенной степени мириться, на борьбу с которым не следует тратить слишком много времени и сил.

3.6. Формальное отношение к безопасности, направленное не столько на ее действительное обеспечение, сколько на снятие ответственности в случае аварии.

3.7. Смешанная (тоталитарная) шкала ценностей, в которой важнее всего выполнение планов, отношение начальства. Отсюда легкое отношение к жизни, чувствам, намерениям людей, циничный обман не знающих об опасности людей, расчет на героизм вместо принятия необходимых мер, создания дорогостоящих приборов, защитных средств.

3.8. Назначения на посты, связанные с обеспечением безопасности, по не относящимся к делу критериям: заслугам перед иерархией, удобству и т. п.

3.9. Волевые решения, принятые при проектировании, эксплуатации, ремонте системы, в процессе и после аварии и т. д. без достаточного обоснования, пренебрежение неудобными факторами, мнениями специалистов.

3.10. Исключение объективного расследования аварии и реальной ответственности за них, определение вины начальником, который нередко сам виноват, перекладывание вины на других.

3.11. Нарушение правил, здравого смысла и т. п. из «высших» соображений.

3.12. Бюрократическое развертывание системы (паркинсонизация), рост количества людей, уровней, инструкций при снижении качества и скорости выполнения функций.

4. Причины, связанные с организацией работ:

4.1. Незнание возможных нежелательных эффектов, отсутствие планов поведения в возможных аварийных ситуациях, неподготовленность людей к ним, отсутствие необходимых устройств, оборудования.

4.2. Нарушение правил безопасности при организации работы из-за спешки, выгоды, халатности и т. п.

4.3. Отсутствие одного лица, ответственного за организацию работ. Ситуация, когда рабочие получают от разных начальников противоречивые указания.

5. Причины, связанные с отношением к обеспечению безопасности, организацией обеспечения безопасности:

5.1. Остаточный принцип в отношении к обеспечению безопасности.

5.2. Тактика затыкания дыр в обеспечении безопасности вместо радикального улучшения ситуации.

5.3. Отношение к службе техники безопасности, ее представителям, рекомендациям и требованиям как к ненужному, мешающему производству, делу.

5.4. Подмена реальной техники безопасности изготовлением длинных, неграмотно написанных и часто невыполнимых инструкций, дезориентирующих людей и усугубляющих опасность.

5.5. Отсутствие одного лица, ответственного за технику безопасности, либо отсутствие у него прав и возможностей решать вопросы безопасности, отсутствие координации между ответственными, борьба между ними, вражда — личная или ведомственная.

5.6. Способ оплаты труда работников служб безопасности, стимулирующий аварии (оплата за сверхурочные и аварийные работы и т. п.).

5.7. Ошибки в инструкциях по технике безопасности:
— неграмотные с точки зрения специалиста, невыполнимые и опасные варианты аварий, не проверенные на практике рекомендации;

- неясные, нечеткие рекомендации, допускающие разные толкования;
- отсутствие разъяснений необходимости тех или иных мер;
- чрезмерный объем инструкций;
- запрещение вещей, в действительности неопасных;
- внесение изменений в привычную последовательность действий, правила.

6. Причины, связанные с особенностями технических систем:

6.1. Повышенная опасность ТС с высокой степенью концентрации энергии (атомные станции), вредных, опасных веществ (химические производства). Особая опасность систем, в которых в тесном контакте находятся различные опасные элементы, например, кислород в опасном соседстве с маслом, горючее с электропроводкой и т. п.

6.2. Общая низкая надежность систем с большим количеством отказов и мелких аварий, кажущихся неопасными. Попытки борьбы с этими частными авариями без повышения надежности всей системы в целом резко повышают опасность, возникает возможность развития опасности по типу «нарастающий ком».

6.3. Постепенное накопление недостатков, вредных факторов в процессе хранения или эксплуатации за счет загрязнений, износа, старения материалов, прохождения нежелательных химических реакций (коррозии) и т. п.

6.4. Опасность, возникающая из-за отказов специализированных, предохранительных, защитных, аварийных систем, ошибки в действиях операторов этих систем.

6.5. Плохое согласование ТС с оператором, несоблюдение правил эргономики при создании системы.

6.6. Отсутствие в ТС «защиты от дурака» – системы, предохраняющей от неверных действий оператора.

6.7. Непродуманность мелких деталей, в критический момент приводящая к аварии.

6.8. Отсутствие простых предохранительных устройств защиты и рассеянность людей.

6.9. Неисправные средства управления.

6.10. Наличие слабого звена, удобного и удовлетворяющего данную систему, но проявляющегося при взаимодействии с другими системами.

6.11. Усложненность и пониженная надежность системы, связанная с нацеленностью на возможность ее ремонта.

6.12. Мелкие, кажущиеся очевидными, безопасными изменения, внесенные без проверки в комплексе:

- рационализация;
- изменение материалов, комплектующих, технологии;
- отклонения в процессе производства.

6.13. Готовность системы к кризисам – наличие внутренних напряжений, нерешенных вопросов, неразрешенных противоречий, пониженная надежность и устойчивость и т. д.

Перечень 10. Типовые способы усиления вредных эффектов

1. Задержка в устранении аварии:

1.1. Задержки, вызванные попытками скрыть аварию, страхом перед начальством, ведомственными интересами и т. п.

1.2. Задержки в принятии радикальных мер в надежде, что «как-нибудь обойдется».

1.3. Задержки из-за попыток ликвидировать аварии своими силами, без посторонней помощи.

2. Ошибки в устранении аварии:

2.1. Из-за недостаточной подготовки, непрофессионализма служб, ликвидирующих аварию.

2.2. Из-за использования средств, усугубляющих положение (например, гашение горящего оборудования водой).

2.3. Из-за некачественного, непроверенного, плохо сохраняемого аварийного снаряжения, его недостаточного количества.

3. Цепочки неверных решений персонала, возникающие в условиях потери контроля над ситуацией.

4. Цепочки вредных эффектов, последовательно возникающие в ТС под влиянием аварии, действие одних аварийных средств на другие, лавина отказов.

5. Наличие нескольких, по меньшей мере двух различных вредных эффектов, находящихся в отношениях синергизма, то есть усиливающих друг друга и мешающих борьбе друг с другом.

Перечень 11. Типовые средства «маскировки» вредных явлений

1. Появление вредных эффектов со временем.
2. Появление вредных эффектов в экстремальных условиях.
3. Появление вредных эффектов при редко встречающихся сочетаниях обстоятельств и сочетаниях условий.
4. Появление вредных эффектов, неразрывно связанных с полезными, превращение некоторых полезных эффектов во вредные.
5. Появление вредных эффектов в результате длинной цепочки взаимодействий в системе.
6. Появление вредных эффектов в результате качественных скачков при определенных количественных изменениях в системах, в том числе при медленном, малозаметном накоплении дефектов, отклонений от нормы.
7. Появление вредных эффектов в результате действия особых механизмов типа «спусковой крючок», цепная реакция с положительной обратной связью, каталитических реакций и т. п.
8. Появление вредных эффектов за счет системных воздействий – в результате непредусмотренного воздействия различных систем.

Перечень 12. Типовые средства предотвращения вредных явлений

1. Исключение из системы подсистем, способных стать причиной вредного явления, аварии, обладающих пониженной надежностью, и т. п.
2. Выявление (например, с помощью данных методических рекомендаций) всех возможных аварий и вариантов их развертывания и разработка сценариев борьбы с ними, подготовка людей и техники к этим задачам.
3. Обеспечение контроля опасных систем, их зон повышенной опасности и раннего предупреждения о возможности появления опасных явлений.
4. Периодическое обслуживание систем, выявление и устранение накопления нежелательных явлений, восстановление оптимального состояния системы, изменение работы системы в соответствии с ее состоянием.
5. Создание в системе строго контролируемых кризисов – условий, при которых возможные нежелательные явления должны проявляться наилучшим образом.

6. Создание кризисов разрядки для снятия накопившихся нежелательных эффектов.

7. Гашение нежелательных положительных обратных связей, лавинообразных процессов, создание отрицательных обратных связей на нежелательные изменения, включение в систему компенсаторов, способных демпфировать нежелательные процессы.

8. Создание защитных систем, способных справиться с вредными явлениями в автоматическом режиме, адекватно реагировать на разные сценарии развития ситуации.

9. Создание систем с «врожденной» безопасностью, например, атомных реакторов, физически не способных к взрыву ни при каких условиях.

Таблица 5.3

Формулирование диверсионной задачи

Объект, процесс	Элементы процесса (внутренние)	Элементы процесса (внешние)	Заказчик	Исполнитель

Таблица 5.4

Поиск известных способов создания чрезвычайных ситуаций, вредных и нежелательных явлений

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые способы вредных воздействий на человека, технические и природные системы (перечень 1)	Типовые результаты вредных воздействий на человека, другие системы (перечень 2)	Стадии жизненного цикла изделия (табл. 5.1)	Стадии аварии (табл. 5.2)

Таблица 5.5

Паспортизация использования ресурсов

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые опасные зоны («болевые точки» и «уязвимые места») системы (перечень 3)	Типовые опасные моменты в «жизни» системы (перечень 4)	Ресурсы системы (перечень 5)	Источники повышенной опасности (перечень 6)	Полезные потоки в системе, какие нарушения этих потоков могут возникнуть (перечень 7)

Таблица 5.6

Поиск вредных эффектов по информационным фондам, поиск возможностей усиления вредного эффекта, «маскировка» вредных явлений

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые ошибки в развитии технических систем (перечень 8)	Типовые причины вредных эффектов (перечень 9)	Типовые способы усиления вредных эффектов (перечень 10)	Типовые способы «маскировки» вредных явлений (перечень 11)	Определить, какие из выявленных на предыдущих шагах вредные эффекты имеют место в реальности	Кто (конкретные люди) и что (конкретные устройства, элементы) может вызвать аварию? / Кто и что может пострадать от аварии?
	Подъемник. Ручной инструмент. Переносной светильник	Опускание подъемника. Падение инструмента. Нарушение изоляции провода						

Таблица 5.7

Анализ выявленных вредных эффектов, устранение вредных эффектов

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Кто (конкретные люди) и что (конкретные устройства, элементы) может вызвать аварию?	Как они могут вызвать аварию, их действия, приведшие к аварии	Кто и что может пострадать от аварии?	Вид травмы	Типовые средства предотвращения аварии (перечень 12)

Пример выполнения задания

Таблица 5.8

Формулирование диверсионной задачи

Объект, процесс	Элементы процесса (внутренние)	Элементы процесса (внешние)	Заказчик	Исполнитель
Монтаж проводов воздушных линий 0,4 кВ на железобетонных опорах	Подъемник, лебедка, раскаточное устройство, монтажный пояс, канат, бензин, ветошь, вазелин, клещи, обжимное устройство, тросоруб, ручной инструмент	Выбросы в сточные воды. Твердые отходы (ветошь, промасленные опилки). Жидкие отходы (масло)	Производственное предприятие (генеральный директор)	Монтажная организация (электромонтажник)

Таблица 5.9

Поиск известных способов создания чрезвычайных ситуаций,
вредных и нежелательных явлений

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые способы вредных воздействий на человека, технические и природные системы	Типовые результаты вредных воздействий на человека, другие системы	Стадии жизненного цикла изделия	Стадии аварии
Подготовительные работы и осмотр трассы	Дальномер, ручной инструмент, измерительные приборы, ТС	Авария ТС, укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (обморожение), травмы от ручного инструмента	Вредное воздействие непосредственное: 1. Механические действия. 2. Тепловые действия (перегрев, переохлаждение). 3. Биологические воздействия Вредное воздействие опосредованное (через внешнюю среду): 1. Ухудшение природных систем (сокращение пригодного для жизни пространства) Взаимодействие ТС с человеком 1. Взаимодействие разных ТС (аварии (столкновения ТС))	На человека: 1. Физические нарушения (травмы, нарушения здоровья)	Проектный	Подготовительная (скрытая) Начальная (появление первых «звоночков»)
Раскатка проводов и тросов	Лесбенка, раскаточное устройство	Укусы насекомых и животных, благоприятные природные условия (обморожение), повреждение от механических приспособлений	Вредное воздействие непосредственное: 1. Механические действия. 2. Тепловые действия (перегрев, переохлаждение). 3. Биологические воздействия	На человека: 1. Физические нарушения (травмы, нарушения здоровья)	Проектный Технологический	Подготовительная (скрытая) Начальная (появление первых «звоночков»)

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые способы вредных воздействий на человека, технические и природные системы	Типовые результаты вредных воздействий на человека, другие системы	Стадии жизненного цикла изделия	Стадии аварии
Сборка гирлянд изоляторов	Ручной инструмент	Укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (обморожение), повреждение от ручного инструмента	Вредное воздействие непосредственное: 1. Механические действия. 2. Тепловые действия (перегрев, переохлаждение). 3. Биологические воздействия	На человека: 1. Физические нарушения (травмы, нарушения здоровья)	Проектный Технологический	Подготовительная (скрытая) Начальная (появление первых «звоночков»)
Подготовка проводов к соединению	Ручной инструмент, бензин, ветошь, вазелин	Укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (обморожение), повреждение от ручного инструмента, отравление парами бензина	Вредное воздействие непосредственное: 1. Механические действия. 2. Тепловые действия (перегрев, переохлаждение). 3. Химические действия. 4. Биологические воздействия Вредное воздействие опосредованное (через внешнюю среду): 1. Ухудшение природных систем (загрязнение воды, почвы)	На человека: 1. Физические нарушения (травмы, нарушения здоровья)	Проектный Технологический	Подготовительная (скрытая) Начальная (появление первых «звоночков»)
Соединение проводов	Клещи, обжимное устройство, тросоруб, ручной инструмент	Укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (обморожение), повреждение от ручного инструмента	Вредное воздействие непосредственное: 1. Механические действия. 2. Тепловые действия (перегрев, переохлаждение). 3. Биологические воздействия	На человека: 1. Физические нарушения (травмы, нарушения здоровья)	Эксплуатационный	Начальная (появление первых «звоночков»)

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые способы вредных воздействий на человека, технические и природные системы	Типовые результаты вредных воздействий на человека, другие системы	Стадии жизненного цикла изделия	Стадии аварии
Поднятие проводов на опору	Монтажный пояс, подъемник	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	Вредное воздействие непосредственное: 1. Механические действия. 2. Тепловые действия (перегрев, переохлаждение)	На человека: 1. Физические нарушения (травмы, нарушения здоровья)	Эксплуатационный	Начальная (появление первых «звоночков»)
Натягивание проводов	Монтажный пояс, подъемник, канат	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	Вредное воздействие непосредственное: 1. Механические действия. 2. Тепловые действия (перегрев, переохлаждение)	На человека: 1. Физические нарушения (травмы, нарушения здоровья)	Эксплуатационный	Начальная (появление первых «звоночков»)
Визирование проводов	Монтажный пояс, подъемник	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	Вредное воздействие непосредственное: 1. Механические действия. 2. Тепловые действия (перегрев, переохлаждение)	На человека: 1. Физические нарушения (травмы, нарушения здоровья)	Проектный	Подготовительная (скрытая)
Закрепление проводов на опорах	Монтажный пояс, подъемник, клещи, обжимное устройство, тросоруб, ручной инструмент	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	Вредное воздействие непосредственное: 1. Механические действия. 2. Тепловые действия (перегрев, переохлаждение)	На человека: 1. Физические нарушения (травмы, нарушения здоровья)	Эксплуатационный	Подготовительная (скрытая)

Таблица 5.10

Паспортизация использования ресурсов

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые опасные зоны («болевы точки» и «уязвимые места») системы	Типовые опасные моменты в «жизни» системы	Ресурсы системы	Источники повышенной опасности	Полезные потоки в системе, какие нарушения этих потоков могут возникнуть
Подготовительные работы и осмотр трассы	Дальномер, ручной инструмент, измерительные приборы, ТС	Авария ТС, укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (обморожение), травмы от ручного инструмента	1. Зоны и узлы, выполняющие большое количество разных функций. 2. Зоны, в которых ответственные решения должны приниматься в условиях высокой неопределенности, недостатка информации	1. Моменты больших общих стрессов: серьезные изменения технологии, визиты высокого начальства («визит-эффект»)	1. Информационные: вредная информация, дезинформация, заставляющая принимать неверные решения	Опасные устройства: 1. Устройства, способные использоваться в виде оружия (ручной инструмент)	1. Изменение величины потоков
Раскатка проводов и тросов	Лесобедка, раскаточное устройство	Укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (обморожение), повреждение от механических приспособлений	1. Зоны, к которым предъявляются противоречивые требования. 2. Зоны, в которых ответственные решения должны приниматься в условиях высокой неопределенности,	1. Моменты нарушения монотонности работы: часы в начале и конце работы (особенно предсветные часы), перед и после педерыва	1. Дифференциальные (разница температур). 2. Малые нарушения и отказы. 3. Элементы, годные для данной системы, но опасные для других,	Опасные устройства: 1. Устройства, связанные с высокой концентрацией энергии (грузоподъемные). Опасные процессы: 1. Процессы, связанные с высокой	1. Изменение величины потоков

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые опасные зоны («болевые точки» и «уязвимые места») системы	Типовые опасные моменты в «жизни» системы	Ресурсы системы	Источники повышенной опасности	Полезные потоки в системе, какие нарушения этих потоков могут возникнуть
			недостатка информации		с ней взаимодействующих, хотя бы в особых условиях	концентрацией энергии	
Сборка гирлянд изоляторов	Ручной инструмент	Укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (обморожение), повреждение от ручного инструмента	1. Зоны концентрации проходящих через систему потоков вещества, энергии (механические усилия, электрические перенапряжения и т. п.), информации	1. Моменты нарушения монотонности работы: часы в начале и конце работы (особенно предрабочие часы), перед и после перерыва	1. Дифференциальные (разница температур)	Опасные устройства: 1. Устройства, в которых встречаются опасные сочетания веществ и воздействий (циклические механические нагрузки и возможность механических повреждений нагруженных деталей)	1. Нарушение параметров и структуры
Подготовка проводов к соединению	Ручной инструмент, бензин, ветошь, вазелин	Укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (обморожение), повреждение от	1. Зоны, подверженные действию полей высокой интенсивности: вибраций, знакопеременных нагрузок, трения, высоких	1. Моменты нарушения монотонности работы: часы в начале и конце работы (особенно	1. Дифференциальные (разница температур). 2. Информационные: вредная информация, дезинформа-	Опасные вещества: 1. Опасные для людей, технических и природных объектов (горючие, взрывающиеся)	1. Нарушение параметров и структуры

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые опасные зоны («болевы точки» и «уязвимые места») системы	Типовые опасные моменты в «жизни» системы	Ресурсы системы	Источники повышенной опасности	Полезные потоки в системе, какие нарушения этих потоков могут возникнуть
		ручного инструмента, отравление парами бензина	температур, активных химических веществ и т. п.	предрасветные часы), перед и после перерыва. 2. Моменты появления большого количества новых людей: приход практикантов, смена экипажа	ция, заставляющая принимать неверные решения. 3. Вещественные: вещества, имеющиеся в системе и надсистеме, в том числе вспомогательные (смазка)	Опасные устройства: 1. Устройства, способные легко использоваться в виде оружия (ручной инструмент)	
Соединение проводов	Клещи, обжимное устройство, тросоруб, ручной инструмент	Укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (обморожение), повреждение от ручного инструмента	1. Зоны концентрации проходящих через систему потоков вещества, энергии (механические усилия, электрические перенапряжения и т. п.), информации	1. Моменты нарушения монотонности работы: часы в начале и конце работы (особенно предрасветные часы), перед и после перерыва. 2. Моменты появ-	1. Дифференциальные (разница температур). 2. Малые нарушения и отказы	Опасные устройства: 1. Устройства, способные легко использоваться в виде оружия (ручной инструмент). Опасные процессы: 1. Процессы, связанные с высокой	1. Нарушение параметров и структуры

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые опасные зоны («болевы точки» и «уязвимые места») системы	Типовые опасные моменты в «жизни» системы	Ресурсы системы	Источники повышенной опасности	Полезные потоки в системе, какие нарушения этих потоков могут возникнуть
				ления большого количества новых людей: приход практикантов, смена экипажа		концентрацией энергии	
Поднятие проводов на опору	Монтажный пояс, подъемник	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	1. Зоны концентрации проходящих через систему потоков вещества, энергии (механические усилия, электрические перенапряжения и т. п.), информации	1. Моменты после произошедших аварий, неудач и т. п., время развертывания «цепочки неприятностей», моменты «стусшения неприятностей»	1. Дифференциальные (разница температур). 2. Малые нарушения и отказы. 3. Организация. 4. Элементы, годные для данной системы, но опасные для других, с ней взаимодействующих, хотя бы в особых условиях	Опасные процессы: 1. Процессы, связанные с высокой концентрацией энергии. Опасные устройства: 1. Устройства, в которых встречаются опасные сочетания веществ и воздействий (циклические механические нагрузки и возможность механических повреждений нагруженных деталей)	1. Изменение величины потоков

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые опасные зоны («болевы точки» и «уязвимые места») системы	Типовые опасные моменты в «жизни» системы	Ресурсы системы	Источники повышенной опасности	Полезные потоки в системе, какие нарушения этих потоков могут возникнуть
Натягивание проводов	Монтажный пояс, подъемник, канат	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	1. Зоны концентрации проходящих через систему потоков вещества, энергии (механические усилия, электрические перенапряжения и т. п.), информации. 2. Зоны, в которых ответственные решения должны приниматься в условиях высокой неопределенности, недостатка информации	1. Моменты после произошедших аварий, неудач и т. п., время развертывания «цепочки неприятностей», моменты «сгущения неприятностей»	1. Дифференциальные (разница температур). 2. Малые нарушения и отказы. 3. Организация. 4. Элементы, годные для данной системы, но опасные для других, с ней взаимодействующих, хотя бы в особых условиях	Опасные процессы: 1. Процессы, связанные с высокой концентрацией энергии. Опасные устройства: 1. Устройства, в которых встречаются опасные сочетания веществ и воз- действий (циклические механические нагрузки и возможность механических повреждений нагруженных деталей)	1. Изменение величины потоков
Визирование проводов	Монтажный пояс, подъемник	Неблагоприятные природные	1. Зоны, в которых ответственные	1. Моменты разного рода	1. Информационные: вредная	Опасные процессы: 1. Процессы, связанные с высокой	1. Нарушение параметров и структуры

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые опасные зоны («болевы точки» и «уязвимые места») системы	Типовые опасные моменты в «жизни» системы	Ресурсы системы	Источники повышенной опасности	Полезные потоки в системе, какие нарушения этих потоков могут возникнуть
		условия (обморожение), падение с высоты	решения должны приниматься в условиях высокой неопределенности, недостатка информации	проверок, испытаний	информация, дезинформация, заставляющая принимать неверные решения	концентрацией энергии	
Закрепление проводов на опорах	Монтажный пояс, подъемник, клещи, обжимное устройство, тросоруб, ручной инструмент	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	1. Зоны концентрации проходящих через систему потоков вещества, энергии (механические усилия, электрические перенапряжения и т. п.), информации	1. Моменты после произошедших аварий, неудач и т. п., время развертывания «цепочки неприятностей», моменты «ступенчатости неприятностей»	1. Дифференциальные (разница температур). 2. Малые нарушения и отказы. 3. Организация. 4. Элементы, годные для данной системы, но опасные для других, с ней взаимодействующих, хотя бы в особых условиях	Опасные устройства: 1. Устройства, способные легко использоваться в виде оружия (ручной инструмент). Опасные процессы: 1. Процессы, связанные с высокой концентрацией энергии	1. Изменение величины потоков

Таблица 5.11

Поиск вредных эффектов по информационным фундам, поиск возможностей усиления вредного эффекта, «маскировка» вредных явлений

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые ошибки в развитии технических систем	Типовые причины вредных эффектов	Типовые способы усиления вредных эффектов	Типовые способы «маскировки» вредных явлений	Определить, какие из выявленных на предыдущих шагах вредные эффекты имеют место в реальности	Кто (конкретные люди) и что (конкретные устройства, элементы) может вызвать аварию? / Кто и что может пострадать от аварии?
Подготовительные работы и осмотр трассы	Дальномер, ручной инструмент, измерительные приборы, ТС (трансп. средство)	Авария ТС, укусы насекомых и животных, приятные природные условия (обморожение), травмы от ручного инструмента	1. Волонтеризм. 2. «Без руля и без ветрил» (надежда на случайную удачу). 3. Недоиспользование интеллекта и творчества	Причины, связанные с недостатками знаний, ошибками: 1. Отсутствие знаний о процессах в системе. 2. Неумение разрешать противоречия. 3. Ошибки на стадии проектирования	Задержка в устранении аварии: 1. Задержки, известные попытки скрыть аварию. 2. Задержки в принятии радикальных мер в надежде, что «как-нибудь обойдется»	1. Появление вредных эффектов в экстремальных условиях. 2. Появление вредных эффектов при редко встречающихся степенях обстоятельств и сочетаниях условий. 3. Появление вредных эффектов при редко встречающихся степенях обстоятельств и сочетаниях условий. 3. Появление вредных эффектов, неразрывно связанных с полезными, превращение некоторых полезных эффектов во вредные	Авария ТС, укусы насекомых и животных, водитель ТС, электрический троллейбус	Водитель ТС, насекомые и животные, водитель ТС, электрический троллейбус

Параметры пор- мального функ- ционирования системы	Оборудова- ние, инстру- менты	Чрезвычай- ные ситуации, вредные и нежелатель- ные явления	Типовые ошибки в развитии тех- нических систем	Типовые причины вредных эффектов	Типовые способы усиления вред- ных эффектов	Типовые способы «маскиро- вания» вред- ных явле- ний	Определить, какие из вы- явленных на предыдущих стапах вред- ные эффекты имеют место в реальности	Кто (конкретные люди) и что (кон- кретные устройства, элементы) может вызвать аварию? / Кто и что может пострадать от ава- рии?
Раскатка прово- дов и тросов	Лебедка, рас- каточное устройство	Укусы насеко- мых и живот- ных, неблаго- приятные при- родные усло- вия (обморо- жение), повре- ждение от ме- ханических приспособле- ний	Типовые ошибки в развитии тех- нических систем	Причины, связанные с недостатками зна- ний, ошибками: 1. Отсутствие профес- сионализма у специа- листов. 2. Неумение решать творческие задачи в обеспечении безопас- ности. Причины, связанные с психофизиологи- ческими особеннос- тями: 1. Недооценка опасно- сти из-за привыкания. 2. Нарушение правил техники безопасности из-за мелких выгод и удобств. Причины, связанные с организационной ра- ботой: 1. Нарушение правил безопасности при ор- ганизации работы па- ра за спешки	Задержки в устранении ава- рии: 1. Задержки, вы- званные попытка- ми скрыть аварию. 2. Задержки в при- нятии радикаль- ных мер в налж- де, что «как- нибудь обойдет- ся». Ошибки в устра- нении аварии: 1. Из-за недоста- точной подготов- ки, непрофессио- нализма служб, ликвидирующих аварию. 2. Целочелпавер- связанных с сонала	1. Появление вредных экстремаль- ных услови- ях. 2. Появление вредных эффектов при редко встре- чающихся стечениях обстоятель- ств и сочета- емых усло- вий. 3. Появление вредных эффектов, неразрывно связанных с превращение некоторых полезных эффектов во вредные	Электромонтер, нааскомые и живот- ные, погодные усло- вия, механические средства / электро- монтер, элементы системы	
Сборка гирлянд изоляторов	Ручной ин- струмент	Укусы насеко- мых и живот- ных, неблаго- приятные при- родные усло- вия (обморо- жение), повре-	1. Топтание на месте в развитии системы	Задержки в устранении ава- рии: 1. Задержки, вы- званные попытка- ми скрыть аварию. 2. Задержки в при-	Укусы насеко- мых и живот- ных, неблаго- приятные при- родные усло- вия (обморо- жение), повре-	Укусы насеко- мых и живот- ных, неблаго- приятные при- родные усло- вия / электромонтер, элементы системы	Электромонтер, нааскомые и живот- ные, погодные усло- вия / электромонтер, элементы системы	

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые ошибки в развитии технических систем	Типовые причины вредных эффектов	Типовые способы усиления вредных эффектов	Типовые способы «масштабировать» вредные явления	Определить, какие из выявленных на предыдущих шагах вредные эффекты имеют место в реальности	Кто (конкретные люди) и что (конкретные устройства, элементы) может вызвать аварию? / Кто и что может пострадать от аварии?
		железо от ручного инструмента	2. Неумение решать творческие задачи в обеспечении безопасности. Причины, связанные с психофизиологическими особенностями: 1. Недоценка опасности из-за привыкания	натяги радикальных мер в надежде, что «как-нибудь обойдется». Ошибки в устранении аварии: 1. Из-за недостаточной подготовки, непрофессионализма служб, ликвидировавших аварию. 2. Цепочки неверных решений персонала	2. Появление вредных эффектов при редко встречающихся стечениях обстоятельств и сочетаниях условий. 3. Появление вредных эффектов, неразрывно связанных с полезными, превращение некоторых полезных эффектов во вредные	2. Появление вредных эффектов при редко встречающихся стечениях обстоятельств и сочетаниях условий. 3. Появление вредных эффектов, неразрывно связанных с полезными, превращение некоторых полезных эффектов во вредные	железо от ручного инструмента	
Подготовка проволоч к соединению	Ручной инструмент, вебинга, вазелин		1. Забегание влезла. 2. Недополучение ресурсов для развития системы	Причины, связанные с недостатками знаний, ошибками: 1. Отсутствие профессионализма у специалистов. 2. Псевдооптимизация. Причины, связанные с психофизиологическими особенностями: 1. Неумение оценивать вероятность тех или иных опасностей.	Задержка в устранении аварии: 1. Задержки, известные попытки скрыть аварию. 2. Задержки в принятии радикальных мер в надежде, что «как-нибудь обойдется».	Укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (обморожения), повреждение от ручного инструмента, отравление парами бензина	Укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (обморожения), повреждение от ручного инструмента, отравление парами бензина	Электромонтер, насекомые и животные, погодные условия, химические вещества / электромонтер, элементы системы

Параметры нормального функционирования системы			Типовые причины вредных эффектов	Типовые способы усиления вредных эффектов	Типовые способы «маскировки» вредных явлений в реальности	Определить, какие из выявленных на предыдущих шагах вредные эффекты имеют место в реальности	Кто (конкретные люди) и что (конкретные устройства, элементы) может вызвать аварию? / Кто и что может пострадать от аварии?
	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, нежелательные явления	Типовые ошибки в развитии технических систем	Причины, связанные с организацией работы: 1. Нарушение правил безопасности при организации работы за спешки	Типовые способы устранения вредных эффектов Ошибки в устранении аварии: 1. Из-за неточной подготовки, непрофессионализма служб, ликвидированных аварийно. 2. Цепочки неверных решений персонала	3. Появление вредных эффектов, неразрывно связанных с полезными, преобразование полезных элементов в вредные	
Соединение проводов	Клеши, обжимное устройство, тросоруб, ручной инструмент	Укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (оборужение), повреждение от ручного инструмента	1. Забегание вперед. 2. Недостаточное использование ресурсов для развития системы	Причины, связанные с недостатками знаний, ошибками: 1. Отсутствие профессионализма у специалистов. Причины, связанные с психофизиологическими особенностями: 1. Снижение внимания. 2. Недостаточное внимание	Задержка в устранении аварии: 1. Задержки, вызванные попытками скрыть аварию. 2. Задержки в принятии радикальных мер в надежде, что «как-нибудь обойдется».	Укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (оборужение), повреждение от ручного инструмента	Электромонтер, насекомые и животные, погодные условия, механические средства /электромонтер, элементы системы

Параметры пор- мального функ- ционирования системы	Оборудова- ние, инстру- менты	Чрезвычай- ные ситуации, вредные и нежелатель- ные явления	Типовые ошибки в развитии тех- нических систем	Типовые причины вредных эффектов	Типовые способы усиления вред- ных эффектов	Типовые способы «маскирова- ния» вред- ных явле- ний	Определить, какие из вы- явленных на предыдущих шагах вред- ные эффекты имеют место в реальности?	Кто (конкретные люди) и что (кон- кретные устройства, элементы) может вызвать аварию? / Кто и что может пострадать от ава- рии?
Поднятие прово- дов на опору	Монтажный пояс, подъем- ник		1. Волонтеризм. 2. «Без руля и без ветрил» (надежда на случайную удачу). 3. Недостаточно высокое интеллек- туальное и творче- ское отношение к работе.	Типовые причины вредных эффектов	Типовые способы усиления вред- ных эффектов	превращение некоторых полезных эффектов во вредные	Неблагоприят- ные природные условия (обмо- рожение), па- дение с высоты	Электромонтер, по- годные условия, ме- ханические средства электроэнергетики, элементы системы, ме- ханические средства
			1. Отсутствие профес- сионализма у специа- листов. 2. Отсутствие понима- ния, плохое понима- ние. Причины, связанные с недостатками зна- ний, ошибками: 1. Отсутствие профес- сионализма у специа- листов. 2. Отсутствие понима- ния, плохое понима- ние. Причины, связанные с психофизиологи- ческими особенностями: 1. Неосторожность, халатность. 2. Отсутствие физиче- ской и психологи- ческой подготовки. Причины, связанные с организационной ра- ботой: 1. Отношение к службе ТБ как к ненужному	Типовые причины вредных эффектов	Типовые способы усиления вред- ных эффектов	превращение некоторых полезных эффектов во вредные	Неблагоприят- ные природные условия (обмо- рожение), па- дение с высоты	Электромонтер, по- годные условия, ме- ханические средства электроэнергетики, элементы системы, ме- ханические средства
			1. Неосторожность, халатность. 2. Отсутствие физиче- ской и психологи- ческой подготовки. Причины, связанные с организационной ра- ботой: 1. Отношение к службе ТБ как к ненужному	Типовые причины вредных эффектов	Типовые способы усиления вред- ных эффектов	превращение некоторых полезных эффектов во вредные	Неблагоприят- ные природные условия (обмо- рожение), па- дение с высоты	Электромонтер, по- годные условия, ме- ханические средства электроэнергетики, элементы системы, ме- ханические средства

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые ошибки в развитии технических систем	Типовые причины вредных эффектов	Типовые способы усиления вредных эффектов	Типовые способы «маскировки» вредных явлений	Определить, какие из выявленных на предыдущих шагах вредные эффекты имеют место в реальности	Кто (конкретные люди) и что (конкретные устройства, элементы) может вызвать аварию? / Кто и что может пострадать от аварии?
Напряжение проводов	Монгажный пояс, подъемник, канат	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	1. Волонтаризм. 2. «Без руля и без ветрил» (надежда на случайную удачу). 3. Недопользование интеллекта и творчества	Причины, связанные с недостатками знаний, ошибками: 1. Отсутствие профессионализма у специалистов. 2. Отсутствие понимания, плохое понимание. Причины, связанные с психофизиологическими особенностями: 1. Неосторожность, халатность. 2. Отсутствие физической и психологической подготовки. Причины, связанные с организационной раббот: 1. Отношение к службе как к ненужному	Задержка в устранении аварии: 1. Задержки, вызванные попытками скрыть аварию. 2. Задержки в принятии радикальных мер в надежде, что «как-нибудь обойдется». Ошибки в устранении аварии: 1. Из-за неточной подготовки, непрофессионализма служб, ликвидирующих аварию. 2. Целочки неверных решений персонала	1. Появление вредных эффектов в экстремальных условиях. 2. Появление вредных эффектов при редко встречающихся случаях 3. Появление обстоятельств и сочетаний условий. 3. Появление вредных эффектов, неразрывно связанных с полезными, превращение некоторых полезных эффектов во вредные	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	Электромонтер, погодные условия, механические средства /Электромонтер, элементы системы, механические средства
Визирование проводов	Монгажный пояс, подъемник	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	1. «Без руля и без ветрил» (надежда на случайную удачу). 2. Недопользование интеллекта и творчества	Причины, связанные с недостатками знаний, ошибками: 1. Отсутствие профессионализма у специалистов	Задержка в устранении аварии: 1. Задержки, вызванные попытками скрыть аварию.	1. Появление вредных эффектов в экстремальных условиях. 2. Появление вредных эффектов при редко встречающихся случаях	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	Электромонтер, погодные условия, механические средства /Электромонтер, элементы системы, механические средства

Параметры нормального функционирования системы				Типовые причины вредных эффектов	Типовые способы усиления вредных эффектов	Типовые способы «маскировки» вредных явлений	Определить, какие из выявленных на предыдущих шагах вредные эффекты имеют место в реальности	Кто (конкретные люди) и что (конкретные устройства, элементы) может вызвать аварию? / Кто и что может пострадать от аварии?
Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и неблагоприятные явления	Типовые ошибки в развитии технических систем	Причины, связанные с психофизиологическими особенностями: 1. Неосторожность, халатность. Причины, связанные с организационной работой: 1. Отношение к службе как к ненужному	Типовые способы усиления вредных эффектов	2. Задержка в принятии радикальных мер в надежде, что «как-нибудь обойдется». Ошибки в устранении аварий: 1. Из-за неточной подготовки, непрофессионализма служб, ликвидирующих аварию. 2. Цепочки неверных решений персонала	2. Появление вредных эффектов при резко возрастающих степенях обостренности и сочетанных условиях. 3. Появление вредных эффектов, неразрывно связанных с полезными, превращение некоторых полезных эффектов во вредные		
Монтажный пояс, подъемник, клещи, обжимное устройство, тросоруб, ручной инструмент		1. Волонтеризм. 2. «Без руля и без ветрил» (надлежащая случайная удача). 3. Недостроение интеллекта и творчества	Причины, связанные с недостатками знаний, ошибками: 1. Отсутствие профессионализма у специалистов. 2. Отсутствие понимания, плохое понимание.	2. Задержка, вызванная попытками скрыть аварию. 2. Задержка в принятии радикальных мер в надежде, что «как-нибудь обойдется»	1. Появление вредных эффектов в экстремальных условиях. 2. Появление вредных эффектов при редко встречающихся степенях обостренности	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	Электромонтер, погодные условия, механические средства/электромонтер, элементные системы, механические средства	
Закрепление проводов на опорах								

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Типовые ошибки в развитии технических систем	Типовые причины вредных эффектов	Типовые способы усиления вредных эффектов	Типовые способы «маскировки» вредных явлений	Определить, какие из выявленных на предыдущих шагах вредные эффекты имеют место в реальности	Кто (конкретные люди) и что (конкретные устройства, элементы) может вызвать аварию? / Кто и что может пострадать от аварии?
				<p>Причины, связанные с психологией человека:</p> <p>Причины, связанные с организацией работы:</p> <p>1. Отношение к службе Т.Е. как к ненужному</p>	<p>Ошибки в устранении аварий:</p> <p>1. Из-за неточной подготовки, непрофессионализма служб, ликвидирующих аварию.</p> <p>2. Цепочки неверных решений персонала</p>	<p>ств и сочетаниях условий.</p> <p>3. Появление вредных эффектов, неразрывно связанных с полезными, превращение некоторых полезных эффектов во вредные</p>		

Таблица 5.12

Анализ выявленных вредных эффектов, устранение вредных эффектов

<p>Параметры нормального функционирования системы</p>	<p>Подготовительные работы и осмотр трассы</p>	<p>Оборудование, инструменты</p>	<p>Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления</p>	<p>Кто (конкретные люди) и что (конкретные устройства, элементы) может вызвать аварию?</p>	<p>Как они могут вызвать аварийных действия, приведшие к аварии</p>	<p>Кто и что может пострадать от аварии?</p>	<p>Вид травмы</p>	<p>Типовые средства предотвращения аварии (перечень 12)</p>
	<p>Дальномер, ручной инструмент, измерительные приборы, ТС</p>	<p>Авария ТС, укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (обморожение), травмы от ручного инструмента</p>	<p>Водитель ТС, насекомые и животные, погодные условия</p>	<p>Неумелое управление водителем ТС, укусы насекомыми электриком, ухудшение погодных условий</p>	<p>Водитель ТС, электриком</p>	<p>Механическая травма, термическая травма, биологическая травма, психологическая травма</p>	<p>1. Выявление всех возможных аварий и вариантов их развития, подготовка людей и техники. 2. Обеспечение контроля опасных систем. 3. Периодическое обслуживание систем. 4. Создание запаштных систем</p>	
<p>Раскатка проводов и тросов</p>	<p>Лесбека, раскаточное устройство</p>	<p>Укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (обморожение), повреждение от механических приспособлений</p>	<p>Электриком, насекомые и животные, погодные условия, механические средства</p>	<p>Неумелые действия электриком, укусы насекомых, ухудшение погодных условий, выход из строя механических средств</p>	<p>Электриком, элементы системы, механические средств</p>	<p>Механическая травма, термическая травма, биологическая травма</p>	<p>1. Выявление всех возможных аварий и вариантов их развития, подготовка людей и техники. 2. Обеспечение контроля опасных систем. 3. Периодическое обслуживание систем. 4. Создание запаштных систем</p>	

Параметры пор- мального функцио- нирования системы	Сборка гирлянд изоляторов								Типовые сред- ства предотвра- щения аварии (перечень 12)
Оборудование, инструменты	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вред- ные и нежела- тельные явления	Кто (конкрет- ные люди) и что (конкрет- ные устройства, элементы) мо- жет вызвать аварию?	Как они могут вызвать аварию, их действия, при- ветствия к аварии	Кто и что может постра- дать от аварии?	Вид травмы	Типовые сред- ства предотвра- щения аварии (перечень 12)		
	Ручной ин- струмент	Укусы насеко- мых и животных, неблагоприятные природные усло- вия (обмороже- ние), поврежде- ние от ручного инструмента	Электромонтер, насекомые и животные, по- годные условия	Неумелые дей- ствия электро- монтера, укусы насекомыми элек- тромастера, ухудшение по- годных условий	Электромонтер, элемен- ты системы	Механическая травма, термиче- ская травма, биоло- гическая травма	1. Выявление всех возможных аварий и вариан- тов их развертыва- ния, подготовка ка людей и тех- ники. 2. Обеспечение контроля опас- ных систем. 3. Периодическое обслуживание систем. 4. Создание за- щитных систем		
Подготовка проводов к соединению	Ручной ин- струмент, бен- зин, ветошь, вазелин	Укусы насеко- мых и животных, неблагоприятные природные усло- вия (обмороже- ние), поврежде- ние от ручного инструмента, отравление пара- ми бензина	Электромонтер, насекомые и животные, по- годные усло- вия, химиче- ские вещества	Неумелые дей- ствия электро- монтера, укусы насекомыми элек- тромастера, ухудшение по- годных условий, неумелое пользо- вание химиче- скими вещества- ми	Электромонтер, элемен- ты системы	Механическая травма, термиче- ская травма, биоло- гическая травма, химическая травма	1. Выявление всех возможных аварий и вариан- тов их развертыва- ния, подготовка ка людей и тех- ники. 2. Обеспечение контроля опас- ных систем. 3. Периодическое обслуживание систем. 4. Создание за- щитных систем		

Типовые средства предотвращения аварии (перечень 12)	Вид травмы	Кто и что может пострадать от аварии?	Как они могут вызвать аварию, их действия, приведшие к аварии	Кто (конкретные люди) и что (конкретные устройства, элементы) может вызвать аварию?	Чрезвычайные ситуации, вредные и неблагоприятные явления	Оборудование, инструменты	Параметры нормального функционирования системы
1. Выявление всех возможных аварий и вариантов их развертывания, подготовка людей и техники. 2. Обеспечение контроля опасных систем. 3. Периодическое обслуживание систем. 4. Создание защитных систем	Механическая травма, термическая травма, биологическая травма	Электромонтер, элементы системы, механические средства	Неумелые действия электрика, монтажера, укусы насекомых, электрические травмы, поражение током, удушье в годных условиях, выход из строя механических средств	Электромонтер, насекомые, животные, погодные условия, механические средства	Укусы насекомых и животных, неблагоприятные природные условия (обморожение), повреждение от ручного инструмента	Клещи, обжимное устройство, тросоруб, ручной инструмент	Соединение проводов
1. Выявление всех возможных аварий и вариантов их развертывания, подготовка людей и техники. 2. Обеспечение контроля опасных систем. 3. Периодическое обслуживание систем. 4. Создание защитных систем	Механическая травма, термическая травма	Электромонтер, элементы системы, механические средства	Неумелые действия электрика, монтажера, удушье в годных условиях, выход из строя механических средств	Электромонтер, погодные условия, механические средства	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	Монтажный пояс, подъемник	Поднятие проводов на опору

Параметры нормального функционирования системы	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Кто (конкретные люди) и что (конкретные устройства, элементы) может вызвать аварию?	Как они могут вызвать аварийных действия, приведшие к аварии	Кто и что может пострадать от аварии?	Вид травмы	Типовые средства предотвращения аварии (перечень 12)
Натягивание проводов	Монтажный пояс, подъемник, канат	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	Электромонтер, погодные условия, механические средства	Неумелые действия электромонтера, ухудшение погодных условий, выход из строя механических средств	Электромонтер, элементные средства	Механическая травма, термическая травма	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выявление всех возможных аварий и вариантов их развертывания, подготовка людей и техники. 2. Обеспечение контроля опасных систем. 3. Периодическое обслуживание систем. 4. Создание защитных систем
Визирование проводов	Монтажный пояс, подъемник	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	Электромонтер, погодные условия, механические средства	Неумелые действия электромонтера, ухудшение погодных условий, выход из строя механических средств	Электромонтер, элементные средства	Механическая травма, термическая травма	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выявление всех возможных аварий и вариантов их развертывания, подготовка людей и техники. 2. Обеспечение контроля опасных систем. 3. Периодическое обслуживание систем. 4. Создание защитных систем

Параметры нормального функционирования системы	Закрепление проводов на опорах	Монтажный пояс, плетник, клеши, обжимное устройство, тросоруб, ручной инструмент	Оборудование, инструменты	Чрезвычайные ситуации, вредные и нежелательные явления	Неблагоприятные природные условия (обморожение), падение с высоты	Кто (конкретные люди) и что (конкретные устройства, элементы) может вызвать аварию?	Электромонтер, погодные условия, механические средства	Как они могут вызвать аварию, их действия, приведшие к аварии	Неумелые действия электромонтера, ухудшение погодных условий, выход из строя механических средств	Кто и что может пострадать от аварии?	Электромонтер, элементы системы, механические средства	Вид травмы	Механическая травма, термическая травма	Типовые средства предотвращения аварии (перечень 12)
													1. Выявление всех возможных аварий и вариантов их развертывания, подготовка людей и техники. 2. Обеспечение контроля опасных систем. 3. Периодическое обслуживание систем. 4. Создание защитных систем	

Практическое задание 6

Прогнозирование интенсивности отказов

Цель: получить практические навыки применения метода прогнозирования интенсивности отказов.

Задание: провести прогнозирование интенсивности отказов технической системы.

Алгоритм выполнения задания

1. Определить вариант для выполнения работы по табл. 6.2.
2. Определить числовое значение интенсивности отказов в эксплуатационных режимах по формуле: $\lambda = \lambda_{ref} \cdot \pi_T$
3. Определить коэффициент температурного влияния, используя приведенную номограмму (рис. 1).
4. Определить интенсивность отказов.
5. Опираясь на данные табл. 6.1, сделать вывод о надежности системы.

Студент произвольно выбирает вариант согласно табл. 6.2.

Таблица 6.1

Оценка надежности системы по величине интенсивности отказов

Интенсивность отказов	Оценка надежности системы
Менее $3 \cdot 10^{-7}$	Высокая
$3 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-5}$	Средняя
Более $5 \cdot 10^{-5}$	Низкая

Примечание: приведенная шкала является ориентировочной.

Теоретические сведения

Прогнозирование интенсивности отказов является методом, который применяют главным образом на ранних стадиях проектирования для оценки интенсивности отказов оборудования и системы. Он может быть использован также на стадии производства при необходимости улучшения количества продукции.

Для прогнозирования используют один из трех основных методов: — метод прогнозирования интенсивности отказов в исходных условиях, называемый количественным анализом частей;

- метод прогнозирования интенсивности отказов в эксплуатационных режимах, называемый анализом напряжений частей;
- метод прогнозирования интенсивности отказов, использующий анализ подобия.

Выбор метода зависит от объема имеющейся информации о системе, а также от необходимой точности аппроксимации.

***Прогнозирование интенсивности отказов
в исходных условиях и прогнозирование интенсивности отказов
в эксплуатационных режимах***

В этих случаях необходимо знать количество и тип компонентов, входящих в систему, а также параметры эксплуатационных режимов, для которых проводится прогнозирование интенсивности отказов. Если параметры эксплуатационных режимов для компонентов совпадают с параметрами исходных условий, то записи об эксплуатационных режимах не делают. Однако если параметры эксплуатационных режимов отличаются от параметров исходных условий, то принимают во внимание используемые условия и режимы для компонента (электрические, тепловые, окружающей среды и т. п.). Для этого должны быть использованы специально разработанные модели. Для точного прогноза необходима надежная база данных интенсивности отказов. Необходимые вычисления могут занять много времени, поэтому рекомендуется применять соответствующие программные средства.

Прогнозирование интенсивности отказов основано на следующих предположениях:

- компоненты соединены в системе последовательно (то есть отказ каждого компонента приводит к отказу системы);
- интенсивность отказов каждого компонента постоянна;
- отказы компонентов являются независимыми.

Эти предположения относительно исследуемой системы должны быть тщательно рассмотрены, так как ошибочное использование метода может привести к появлению опасных ошибок.

Предположение, что интенсивности отказов компонентов являются постоянными, сокращает количество вычислений, так как в этом случае интенсивность отказов системы является суммой

интенсивностей отказов компонентов. Интенсивность отказов системы не всегда является значимой характеристикой надежности системы, поскольку не все отказы воздействуют на систему одинаково. Отказы диагностических элементов и некоторые режимы неисправностей могут не влиять на функционирование системы. В этом случае интенсивность отказов системы является лишь мерой количества корректирующих действий технического обслуживания независимо от того, связаны они с отказами системы или нет.

Точность прогноза характеристик надежности системы зависит от доступных моделей отказов компонентов. Все вышеуказанное относится также к прогнозированию интенсивности отказов в эксплуатационных режимах.

Прогнозирование интенсивности отказов с использованием анализа подобия

Анализ подобия включает использование для прогнозирования надежности данных эффективности оборудования при эксплуатации для сравнения характеристик вновь разработанного оборудования с характеристиками оборудования-прототипа.

Сравнения характеристик аналогичного оборудования могут быть сделаны на уровне элемента, подсистемы или компонента. При этом используют одни и те же данные эксплуатации, но применяют различные алгоритмы и расчетные коэффициенты.

Сопоставляемые элементы могут включать:

- условия эксплуатации окружающей среды (измеренные и заданные);
- характеристики проекта;
- процессы проекта;
- процессы обеспечения надежности;
- процессы производства;
- процессы технического обслуживания;
- компоненты и материалы.

Для каждого вышеупомянутого элемента необходимо сопоставлять все их характеристики. Например, условия эксплуатации и условия окружающей среды могут включать установившуюся температуру, влажность, температурные изменения, электрическую

мощность, цикл режима работы, механическую вибрацию и т. д. Характеристики проектируемого оборудования могут включать количество компонентов, количество монтажных плат, схемы, размеры, массу, материалы и т. д.

Анализ подобия включает необходимые алгоритмы или расчетные методы для определения количества подобий и различий между исследуемым оборудованием и оборудованием-прототипом.

Анализ подобия элемента применяют в случае, когда оборудование-прототип имеет различия или недоступно для сравнения с вновь разработанным исследуемым оборудованием. Анализ подобия элемента — это структурированное сравнение элементов нового оборудования с подобными элементами ряда различных прототипов оборудования, для которых имеются данные надежности.

Достоинства:

- если имеются соответствующие данные, время и стоимость анализа будут очень небольшими;
- анализ адаптирован к ранним этапам проектирования и разработки, поскольку для него достаточно небольшого количества входной информации и данных;
- основная информация о надежности компонента получена на ранних этапах проектирования и разработки;
- метод адаптирован как к ручному, так и к компьютерному вычислениям;
- применение метода не требует специального обучения.

Недостатки:

- метод не применяют для систем с резервированием;
- из-за недостатка исходной информации уровень точности прогноза может быть низким, особенно для небольших подсистем и производств (для повышенной точности требуются большие выборки);
- оценка режимов и последствий отказов невозможна.

Пример выполнения задания

Исходные условия интенсивности отказов для биполярной оперативной памяти следующие:

- $\lambda_{ref} = 10^{-7} \text{ ч}^{-1}$,
- температура окружающей среды: $\Theta_{amb,ref} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$,
- самонагрев: $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Каким будет значение интенсивности отказов при температуре окружающей среды $\Theta_{amb,ref} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ с тем же значением самонагрева?

1. Модель интенсивности отказов в эксплуатационных режимах определяют по формуле:

$$\lambda = \lambda_{ref} \pi_T$$

где π_T – коэффициент температурного влияния.

2. Из рис. 1 следует, что коэффициент температурного влияния $\pi_T = 3,4$.

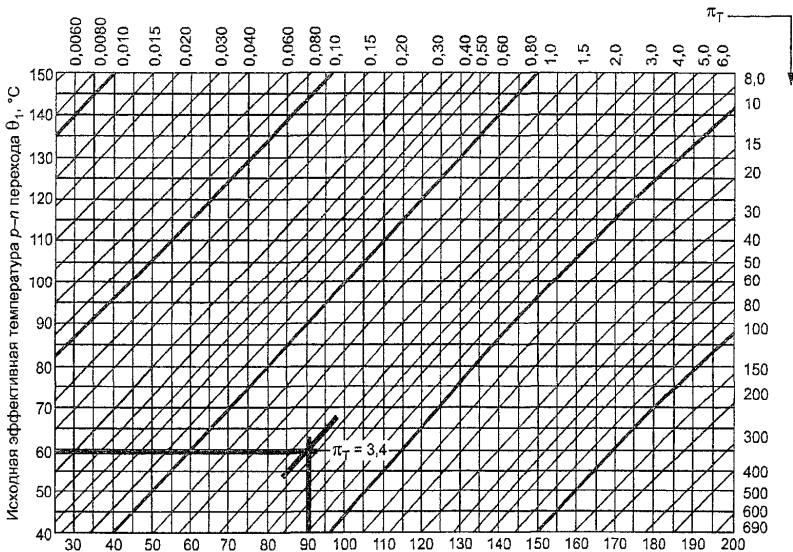


Рис. 1. Зависимость интенсивности отказов от температуры

Используя значение исходной температуры и фактическую температуру, определяем:

$$\Theta_1 = \Theta_{amb,ref} + \Delta T_{ref} = 40 \text{ }^\circ\text{C} + 20 \text{ }^\circ\text{C} = 60 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\Theta_2 = \Theta_{amb,ref} + \Delta_{Tref} = 70 \text{ }^\circ\text{C} + 20 \text{ }^\circ\text{C} = 90 \text{ }^\circ\text{C}.$$

3. Интенсивность отказов для $\Theta_{amb,ref} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ определяем по формуле, указанной для шага 1:

$$\lambda = \lambda_{ref} \cdot \pi_T = 3,4 \cdot 10^{-7} \text{ ч}^{-1}.$$

Вывод: опираясь на данные табл. 6.1, приходим к выводу, что надежность рассматриваемой системы является средней.

Таблица 6.2

Исходные данные для прогнозирования интенсивности отказов

Номер варианта	Интенсивность отказов, 1/час	Температура окружающей среды, °C
1	10^{-7}	64
2	10^{-8}	87
3	10^{-7}	90
4	10^{-6}	70
5	10^{-7}	77
6	10^{-6}	69
7	10^{-8}	87
8	10^{-7}	56
9	10^{-6}	97
10	10^{-7}	88
11	10^{-6}	76
12	10^{-8}	71
13	10^{-7}	81
14	10^{-6}	83
15	10^{-8}	97
16	10^{-7}	99
17	10^{-7}	64
18	10^{-6}	66
19	10^{-8}	98
20	10^{-7}	97
21	10^{-6}	59
22	10^{-7}	45
23	10^{-7}	78

Номер варианта	Интенсивность отказов, 1/час	Температура окружающей среды, °С
24	10^{-6}	80
25	10^{-7}	84
26	10^{-8}	66
27	10^{-7}	54
28	10^{-6}	67
29	10^{-7}	87
30	10^{-6}	55
31	10^{-6}	58
32	10^{-8}	59
33	10^{-7}	80
34	10^{-8}	51
35	10^{-7}	82
36	10^{-8}	76
37	10^{-6}	50
38	10^{-6}	70
39	10^{-7}	88
40	10^{-7}	81
41	10^{-6}	73
42	10^{-8}	70
43	10^{-7}	74
44	10^{-7}	89
45	10^{-6}	87
46	10^{-6}	83
47	10^{-8}	57
48	10^{-7}	64
49	10^{-8}	67
50	10^{-6}	62

Примечание: для всех вариантов принять первоначальную температуру окружающей среды равной 40 °С, а температуру самонагрева принять равной 20 °С.

Практическое задание 7

Анализ надежности системы с помощью методики «Дерево неисправностей»

Цель: получить практические навыки применения анализа дерева неисправностей.

Задание: построить дерево неисправностей для ситуации, указанной в варианте задания.

Алгоритм выполнения задания

1. Ознакомиться с методом анализа дерева неисправностей.
2. Произвести построение дерева неисправностей согласно варианту технологического процесса, выбранного ранее из прил. 1.
3. Оформить задание согласно примеру выполнения задания.







Теоретические сведения

Рассмотрим анализ диаграммы всех возможных последствий несрабатывания или аварии системы (анализ дерева неисправностей – *FTA*).

FTA представляет собой совокупность качественных или количественных приемов, при помощи которых выявляются методом дедукции, выстраиваются в логическую цепь и представляются в графической форме те условия и факторы, которые могут способствовать определенному нежелательному событию (называемому вершиной событий). Неисправностями или авариями, идентифицируемыми в дереве неисправностей, могут быть события, связанные с повреждениями механической конструкции компонента, ошибками персонала или любыми другими событиями, которые влекут за собой нежелательное событие. Начиная с вершины событий, выявляются возможные причины или аварийные состояния следующего, более низкого функционального уровня системы. Последующая поэтапная идентификация нежелательного функционирования системы в направлении последовательно снижающихся уровней системы приводит к искомому уровню системы, которым является аварийное состояние компонента. Для построения дерева неисправностей используются символы, указанные в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Символы, используемые при изображении
дерева неисправностей

Символ	Наименование символа	Описание символа
	Вершина событий	Вершина событий, соответствующая неисправности системы
	Промежуточное событие	Промежуточное событие, соответствующее неисправности более высокого уровня, чем события основного уровня
	Основное событие	Основное событие, для которого имеется информация о надежности
	Неразработанное событие	Часть системы, которая не разработана
	Клапан перехода	Клапан, указывающий, что эта часть системы разрабатывается в другой части или на другой странице диаграммы
	Клапан ИЛИ	Событие выхода происходит, если происходят все события входа одновременно

FTA предоставляет возможность подхода, который является в высокой степени системным, но в то же время достаточно гибким для того, чтобы обеспечить возможность анализа множества факторов, включая взаимодействия людей и физические явления. Применение подхода по принципу сверху вниз, неявного по своей методике, концентрирует внимание на тех воздействиях неисправности или аварии, которые имеют непосредственное отношение к вершине событий. Это является определенным преимуществом несмотря на то, что может стать и причиной утраты тех воздействий, которые являются существенно важными где-нибудь еще. *FTA* особенно полезен для анализа систем с множеством областей контакта и взаимодействий. Графическое представление приводит к тому, что можно без особого труда понять поведение системы и поведение включенных в него факторов, но поскольку размер деревьев зачастую велик, обработка деревьев неисправностей может

потребовать применения компьютерных систем. Эта отличительная черта также затрудняет проверку дерева неисправностей.

FTA можно использовать для идентификации опасностей, хотя в первую очередь он используется при оценке риска в качестве инструмента для оценки вероятностей или частот неисправностей и аварий.

Пример выполнения задания

Построить дерево отказов для аварии генератора.

Пример дерева неисправностей для аварийного генератора представлен на рис. 2.

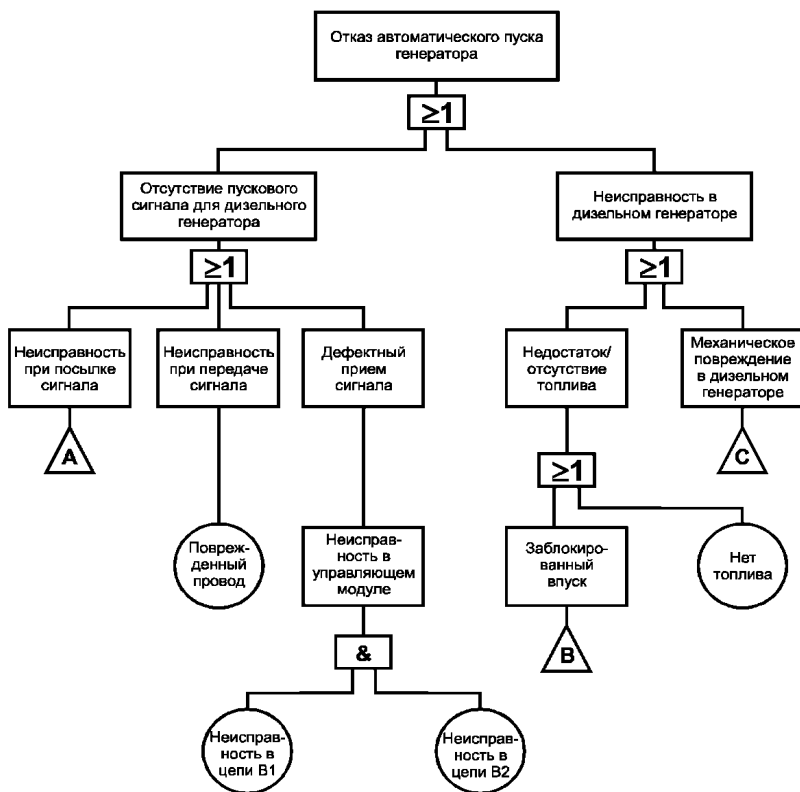


Рис. 2. Дерево неисправностей для аварийного генератора

Практическое задание 8

Анализ надежности системы с помощью методики «Дерево событий»

Цель: получить практические навыки применения анализа дерева событий.

Задание: построить дерево событий для ситуации, указанной в варианте задания.

Алгоритм выполнения работы

1. Ознакомиться с методом анализа дерева событий.
2. Произвести построение дерева неисправностей согласно варианту технологического процесса, выбранного ранее из прил. 1.
3. Оформить задание согласно примеру выполнения задания.

Теоретические сведения

Рассмотрим анализ диаграммы возможных последствий события (анализ дерева событий – *ETA*).

ETA представляет собой совокупность количественных или качественных приемов, которые используются для идентификации возможных исходов инициирующего события и, если это требуется, их вероятностей. *ETA* широко используется для объектов, характеризующихся особенностями проекта, которые способствуют снижению аварийности и позволяют выявлять последовательности событий, которые, в свою очередь, приводят к появлению определенных последствий инициирующего события. Предполагается, что каждое событие в последовательности представляет собой либо исправность, либо неисправность. Простое дерево событий для взрыва пыли с указанными на нем вероятностями представлено на рис. 3. Следует отметить, что вероятности на дереве событий являются условными. Например, вероятность функционирования разбрызгивателя не является вероятностью, полученной на основании испытаний при нормальных условиях, а является вероятностью функционирования в условиях пожара, вызванного взрывом.

ETA представляет собой индуктивный тип анализа, в котором основным задаваемым вопросом является «что случится, если...?». Он обеспечивает взаимосвязь между функционированием (или отказом) разнообразных смягчающих систем и опасным событием, следующим после того, как происходит единичное инициирующее событие. *ETA*

очень полезен при выявлении событий, которые требуют дальнейшего анализа с использованием *FTA* (то есть вершины событий деревьев неисправностей). Для того чтобы иметь возможность сделать исчерпывающую оценку риска, требуется идентифицировать все потенциальные иницирующие события. При данном методе тем не менее всегда существует вероятность упустить из виду некоторые важные иницирующие события. Более того, в случае деревьев событий мы имеем дело только с состояниями успеха и отказа. Возникает трудность с включением запаздывающего успеха или возвратных событий.

ETA может быть использован как для идентификации опасности, так и для вероятностной оценки последовательности событий, влекущих за собой опасные ситуации.

Пример выполнения задания

Построить дерево событий для взрыва пыли (рис. 3).

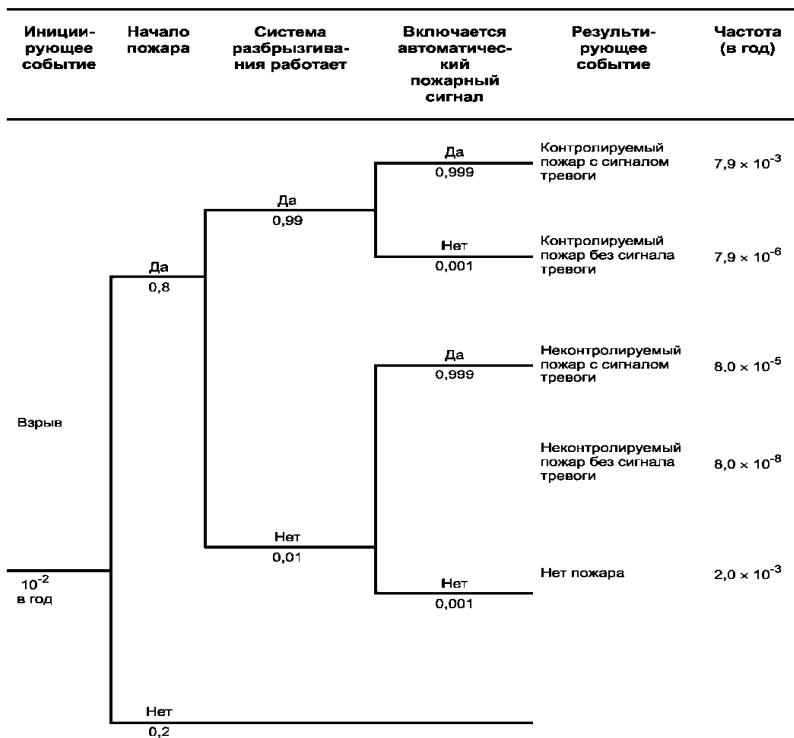


Рис. 3. Дерево событий для взрыва пыли

Практическое задание 9

Анализ надежности системы с помощью методики «Анализ видов и последствий отказов»

Цель: получить практические навыки проведения анализа видов и последствий отказов.

Задание: провести *FMEA*-анализ и определить меры предупреждения отказа.

Алгоритм выполнения задания

1. Ознакомиться с методом *FMEA*-анализа.
2. Произвести *FMEA*-анализ согласно варианту технологического процесса, выбранного ранее из прил. 1.
3. Оформить таблицу *FMEA*-анализа (табл. 9.1).

Теоретические сведения

Анализ видов и последствий отказов (*FMEA*) является восходящим методом анализа надежности, который обычно применяют для изучения материала, компонентов, отказов оборудования и их воздействий на следующий более высокий функциональный уровень системы. Итерации этих шагов (идентификация одиночных режимов отказов и оценка их воздействия на следующий более высокий уровень системы) заканчиваются идентификацией всех режимов единичных отказов системы. *FMEA* может быть использован для анализа систем, использующих технологии с простыми функциональными структурами отказов (электрические, механические, гидравлические, программные и т. д.). Анализ видов, последствий и критичности отказов (*FMECA*) расширяет *FMEA*, определяя количество последствий отказа через вероятности появления и серьезности последствий. Серьезность последствий оценивают в соответствии с заданной шкалой.

FMEA и *FMECA* обычно применяют в случаях, когда уровень риска выявляется на ранних уровнях разработки продукции. Их применяют для новых технологий, процессов, проектов или при изменениях условий окружающей среды, нагрузок или инструкций. *FMEA* и *FMECA* могут быть применены для компонентов или систем, которые представляют собой продукцию, процессы или

производственное оборудование. Они также могут быть применены к системам программного обеспечения.

FMEA и *FMECA* состоят из следующих этапов:

- идентификация требований к функционированию компонента системы;
- идентификация потенциальных видов, последствий и причин отказов;
- идентификация риска, связанного с видами и последствиями отказа;
- идентификация рекомендуемых действий для устранения или уменьшения риска;
- завершающие действия.

Достоинства методики:

- систематическая идентификация отношений причин и последствий;
- начальная индикация тех видов отказов, которые, возможно, могут быть критическими, особенно отказов, которые могут повторяться;
- идентификация результатов определенных причин или событий, которые являются важными;
- обеспечение порядка идентификации мер по снижению риска;
- возможность использования в предварительном анализе новых или неиспытанных систем или процессов.

Недостатки методики:

- объем выходных данных может быть большим, даже для относительно несложных систем;
- метод может стать сложным и неуправляемым, если нет четкой связи между причиной и последствиями;
- метод не предназначен для анализа временных последовательностей, процессов восстановления, условий окружающей среды, аспектов технического обслуживания и т. д.;
- первоначальная модель критичности усложняется за счет включения конкурирующих факторов.

Пример выполнения задания

Провести *FMEA*-анализ двигателя и определить меры предупреждения отказа.

Таблица 9.1

FMEA-анализ

Уровень контрактов		Проект						Подготовлен				
Номер листа		Элемент						Одобен				
Стадия задачи		Проблема						Дата				
Порядковый номер	Описание функции элемента	Код отказа	Вид отказа	Возможные причины отказа	Признак отказа	Локальные последствия	Воздействие на выход элемента	Меры, предпринимаемые при отказе	Класс опасности	Интенсивность отказа	Источник данных	Рекомендуемые действия

Таблица 9.2

Уровень контрактов		Проект										Подготовлен	
Номер листа		Элемент										Одобен	
Стадия задачи		Проблема										Дата	
Порядковый номер	Описание функции элемента	Код отказа	Вид отказа	Возможные причины отказа	Признак отказа	Локальные последствия	Воздействие на выход элемента	Меры, предупреждающие отказ	Класс опасности	Интенсивность отказа	Источник данных	Рекомендуемые действия	
1.1.1	Статор двигателя	1111	Разрыв цепи	Разрыв обмотки	Искрообразование	Низкая мощность	Отключение	Установить температурное реле на одну из фаз	4	–	–	–	
		1112	Разрыв цепи	Обрыв соединений	Искрообразование	Низкая мощность	Отключение	Установить температурное реле на одну из фаз	3	–	–	–	
		1113	Нарушение изоляции	Постоянная высокая температура, производственный дефект	Включение системы защиты	Перегрузка	Нет выхода	Ежегодная проверка температурного реле	4	–	–	–	
		1114	Размыкание цепи терморезистором	Старение, обрыв соединения	Включение системы защиты	–	Нет выхода	Резервирование	3	–	–	Рекомендуется резервное соединение на внешний кожух	

Порядковый номер	Описание функции элемента	Код отказа	Вид отказа	Возможные причины отказа	Признак отказа	Локальные последствия	Воздействие на выход элемента	Меры, предупреждающие отказ	Класс опасности	Интенсивность отказа	Источник данных	Рекомендуемые действия
1.1.2	Система охлаждения двигателя	1115	Размыкание цепи терморезистором	Включение системы защиты	Включенные системы защиты	Снижение скорости срабатывания реле	Нет выхода при выходной нагрузке	Установить температурное реле	3	–	–	Рекомендуется зерное соединение на внешний кожух
		1121	Неадекватное охлаждение	Блокировка низкой разности давлений	Высокая температура статора	Быстро меняющаяся температура	Быстро меняющаяся температура статора	Установить температурное реле на статор	2	–	–	–
		1122	Утечка в атмосферу	Неисправность трубопровода	Температура двигателя	Неадекватное охлаждение двигателя	Быстро меняющаяся температура двигателя	Проверка температуры реле через каждые 2 ч	Проверка температуры реле через каждые 2 ч	2	–	–
1.1.3	Поведение двигателя	1122	Поступление из атмосферы	Неисправность трубопровода	Низкий выход	Подавание воздуха в систему	-	Проверка трубопровода через каждые 2 ч	2	–	–	–
		1131	Неисправность прокладки. Утечка	Износ прокладки	Низкий уровень масла	Потеря масла	Нет воздействия, если утечка несерьезная	Ежедневные проверки наличия утечек	3	–	–	–

Практическое задание 10

Анализ надежности человеческого фактора

Цель: получить практические навыки проведения анализа надежности человеческого фактора.

Задание: провести анализ надежности и техногенного риска технологических процессов с помощью методики «Анализ надежности человеческого фактора».

Алгоритм выполнения задания

1. В технологическом процессе, выбранном ранее из прил. 1, определить этап, на котором работник может совершить ошибку с наибольшей вероятностью.
2. Выявить действия технической системы.
3. Определить задачи для выполнения работником.
4. Составить перечень возможных человеческих ошибок.
5. Представить возможные ошибки человека, определить их причины и разработанные меры предупреждения в таблице.
6. Оформить задание по табл. 10.1 согласно примеру выполнения.

Теоретические сведения

Анализ надежности человеческого фактора (*HRA*) является частью анализа человеческого фактора, который включает распределение функций, задач и ресурсов среди людей и машин и оценку надежности действий человека. Анализ человеческого фактора не является самостоятельной дисциплиной. В этом методе используются такие дисциплины, как психология, физиология, социология, медицина и проектирование.

Специфическая цель анализа человеческого фактора состоит в том, чтобы оценить факторы, которые могут воздействовать на надежность действий человека при эксплуатации системы (анализ надежности человеческого фактора). Надежность человека необходима для успешной работы системы человек – машина в условиях воздействия различных факторов. Эти факторы могут быть внутренними (напряжение, эмоциональное состояние, обучение, побуждения и опыт) или внешними (часы работы, среда, действия диспетчеров, процессов, аппаратных средств).

Влияние человеческого фактора должно быть определено на всех стадиях разработки системы от проекта до обучения, эксплуатации и демонтажа. Метод применим для рассмотрения системы в целом (включая управление при эксплуатации) и взаимодействия отдельных работников при эксплуатации системы.

При решении любой задачи, выполняемой человеком, возникает возможность возникновения человеческой ошибки. После идентификации этих задач необходимо идентифицировать вероятные ситуации возникновения человеческих ошибок. Метод *HRA* является методом *FMEA* для задач, связанных с человеческим фактором.

Часто для решения этих задач используют анализ дерева событий. Дерево событий отражает информацию анализа задачи и определяет схему количественной оценки комбинации отказов.

Типичными элементами анализа надежности человеческого фактора являются:

- описание персонала, условий его работы и выполняемых задач;
- анализ интерфейсов человек — машина;
- анализ эффективности функций оператора;
- анализ ошибки человека при выполнении заданных функций;
- документирование результатов.

Достоинства метода

Анализ неудач и несчастных случаев показывает, что надежность человеческого фактора является ключевым моментом надежности системы человек — машина. Если учитывать человеческий фактор, прогноз надежности системы может быть ложным.

Ограничения применения

Проведение анализа надежности человеческого фактора системы требует глубокого знания параметров эффективности действий человека.

Если необходимые данные отсутствуют, количественный анализ должен быть основан на экспертной оценке вероятностей человеческих ошибок.

Анализ человеческого фактора редко является частью разработки надежности системы, и иногда сложно убедить руководителей проекта начать анализ человеческого фактора или анализ надежности человека.

Форма для выполнения задания

Задача этапа	Человеческая ошибка	Причина	Мера предупреждения

Пример выполнения задания

Рассмотрим систему, для запуска которой используют ключ (например, поезд). Предположим, что этот ключ должен быть заменен на электронную карту (по любой причине). Аналогичное решение используется в нескольких разновидностях автоматических кассовых аппаратов. Необходимо оценить влияние этого изменения на работоспособность системы (относительно прежнего решения).

Оценку проводят поэтапно.

Этап 1. Рассматривают поведение водителя в конкретных условиях работы и его взаимодействие с системой при запуске поезда. Задача человека состоит в том, чтобы ввести карту и код для подтверждения своей личности.

Этап 2. Проводят распознавание кода. Интерфейс известен из опыта эксплуатации кассовых аппаратов. Он состоит из читающего устройства, дисплея и числовой клавиатуры для введения личного кода.

Этап 3. Определяют задачи:

- а) ввод карты,
- б) ввод правильного кода.

Этап 4. Возможные человеческие ошибки приведены в табл. 10.2.

Таблица 10.2

Ошибки, которые может совершить человек

Задача этапа 3	Человеческая ошибка	Причина	Мера предупреждения
а)	1. Водитель забыл или потерял карту	Неправильный способ хранения карты	Установленные способы хранения или футляр для карты, который удобен для водителя
		Невнимательность водителя	Проверки наличия карты у водителя (или напоминание перед началом работы). Обеспечение водителя резервными картами
	2. Карта находится в условиях, которые делают ее нечитаемой	Неправильный способ хранения карты	Проверки наличия карты у водителя (или напоминание перед началом работы). Обеспечение водителя резервными картами
		Неправильное обращение с картой	Обучение обращению с картой. Регулярные проверки способов хранения. Обеспечение водителей бесконтактными картами как альтернативный проект (рентабельность которого должна проверяться)
б)	1. Водитель забыл код	Плохая память	Обучение или как альтернатива: водитель выбирает код сам (номер, который является более простым для запоминания) вместо назначения кода системы
	2. Водитель ввел неправильный код	Ошибка при вводе кода	Обеспечение возможности как минимум одного повторного набора кода. Дизайн клавиатуры должен быть эргономичным для сокращения ошибок (например, клавиши не должны быть слишком маленькими, должны быть легко читаемыми, клавиатура должна подавать сигнал, когда код набран, и т. д.)

Практическое задание 11

«Пять почему»

Цель: получить практические навыки применения методики «Пять почему».

Задание: провести анализ надежности и техногенного риска с помощью методики «Пять почему» для выбранного технологического процесса.

Алгоритм выполнения задания

1. Сформулировать проблему (описать ситуацию) в выбранном ранее техпроцессе из прил. 1.
2. Задать вопрос: «Почему могла возникнуть данная ситуация?».
3. Определить причины возникновения ситуации.
4. Постановка вопроса «почему?» к каждой причине.
5. Определить меры по устранению проблемы.
6. Оформить протокол отчета согласно приведенному примеру.

Теоретические сведения

Методика «Пять почему» применяется в различных областях человеческой деятельности в процессе анализа проблем и поиска первопричин их возникновения. «Пять почему» — эффективный инструмент, использующий вопросы для изучения причинно-следственных связей, лежащих в основе конкретной проблемы, определения причинных факторов и выявления первопричины. Логика ответов на вопрос «почему?» постепенно раскрывает всю цепь последовательно связанных между собой причинных факторов, оказывающих влияние на проблему. Цифра «5» условна. В действительности вы можете обнаружить, что придется задать вопрос менее или более пяти раз, выстраивая логическую цепочку, прежде чем вы сможете установить первопричину проблемы. Поиск ответов на вопросы, входящие в логическую цепочку, позволяет структурировать исследовательскую ситуацию, т. е. выработать методику эффективного анализа рассматриваемой проблемы.

Последовательно отвечая на вопрос «почему?», находим причины возникшей проблемы. После выявления причины возникновения проблемы необходимо предложить меры по её устранению.

Достоинства метода:

- один из простейших инструментов;
- помогает установить первопричину проблемы;
- определяет взаимосвязи между различными причинами проблемы.

Недостатки метода:

- решение только простых задач;
- не рассматривается логическая проверка цепочки причин, ведущих к первопричине, т. е. в данном инструменте отсутствуют правила проверки в обратном направлении — от первопричины к результатам.

Однако несмотря на приведенные недостатки, методика позволяет получать информацию, необходимую для принятия решений.

Пример выполнения задания

Возникшая проблема: размытое изображение на печатной копии документа.

Последовательно отвечая на вопрос «почему?», находим причины возникшей проблемы: заправка принтера неоригинальными чернилами и отсутствие ответственного за обслуживание. После выявления причин возникновения проблемы необходимо предложить меры по её устранению. В приведенном примере (рис. 4) такой мерой может быть назначение ответственного за обслуживание оборудования, задачей которого будет поддержание работоспособного состояния принтера.

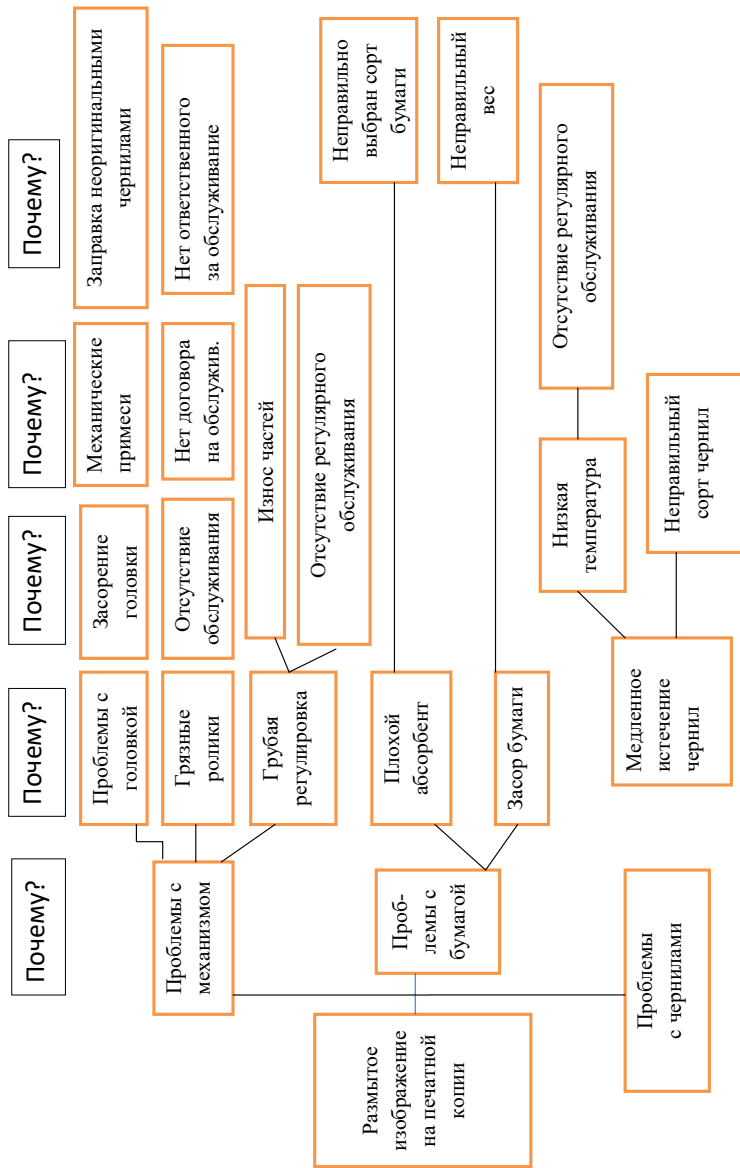


Рис. 4. Применение методики «Пять почему»

Практическое задание 12

Анализ надежности с помощью диаграммы Исикавы

Цель: получить практические навыки анализа надежности с помощью применения диаграммы Исикавы.

Задание: построить диаграмму Исикавы для решения проблемы.

Алгоритм выполнения задания

1. Ознакомиться с методом «Диаграмма Исикавы».
2. Определить проблему, подлежащую исследованию в ранее выбранном технологическом процессе из прил. 1.
3. Определить ключевые категории причин, действующих на проблему.
4. Детализировать причины на составляющие.
5. Выявить наиболее значимую причину, влияющую на исследуемую проблему.
6. Предложить меры воздействия.

Теоретические сведения

Диаграмма причин и следствий называется диаграммой Исикавы (в честь ее создателя) или диаграммой «рыбного скелета» (из-за ее формы). Диаграмма обеспечивает наглядное представление списка идентифицированных и систематизированных возможных причин проблем или факторов, необходимых для обеспечения работоспособного состояния или отказа системы. Диаграмма эффективна при изучении процессов и ситуаций, а также при планировании. Она позволяет легко увидеть отношения между факторами. Диаграмма причин и следствий обычно создается методом мозгового штурма. В результате диаграмму часто изображают вручную на бумаге. Однако существуют пакеты программ, пригодных для составления диаграммы.

Инструкция по выполнению:

1. Определяется потенциальная или существующая проблема, требующая разрешения.
2. Формулировка проблемы размещается в прямоугольнике с правой стороны листа бумаги (рис. 4).
3. От прямоугольника влево проводится горизонтальная линия (рис. 5).



Рис. 5. Первые этапы построения диаграммы Исикавы

4. По краям листа с левой стороны обозначаются ключевые категории причин, влияющих на исследуемую проблему (рис. 6). Следует отметить, что:

- 1) количество категорий может изменяться в зависимости от рассматриваемой проблемы;
- 2) как правило, используются пять или шесть категорий из приведенного выше списка (человек, методы работы, механизмы, материал, контроль, окружающая среда).

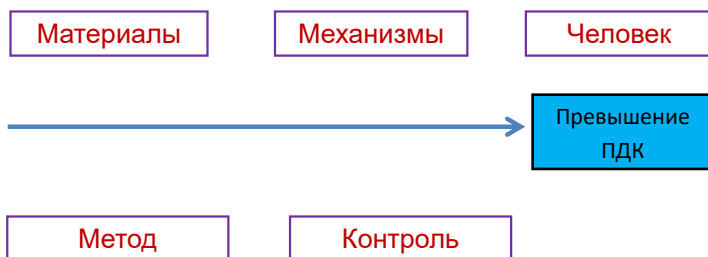


Рис. 6. Обозначение ключевых категорий причин на диаграмме

5. От названий каждой из категорий причин к центральной линии проводятся наклонные линии. Они будут являться основными ветвями диаграммы Исикавы (рис. 7).

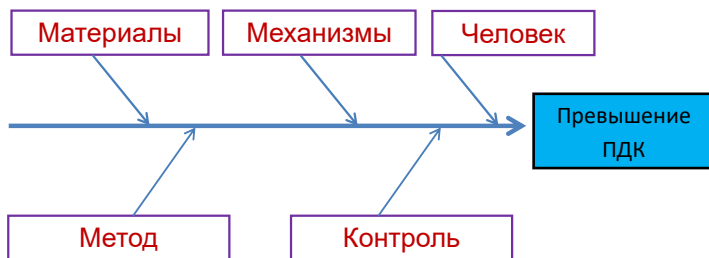


Рис. 7. Построение ветвей диаграммы

6. Причины проблемы, выявленные в ходе исследования, распределяются по установленным категориям и указываются на диаграмме в виде ветвей, примыкающих к основным ветвям (рис. 8).

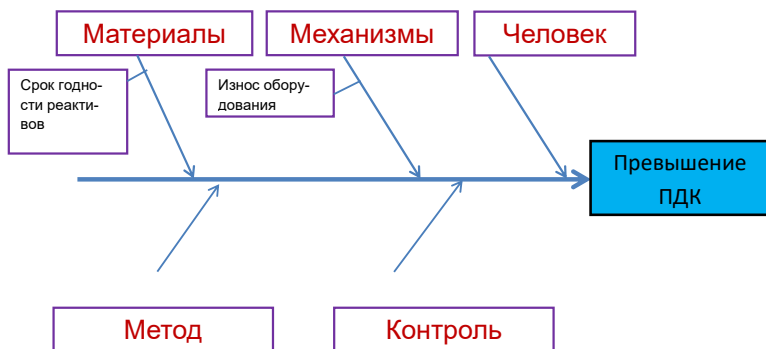


Рис. 8. Указание причин проблемы на диаграмме

7. Каждая из причин детализируется на составляющие. Для этого по каждой из них задается вопрос: «Почему это произошло?». Результаты фиксируются в виде ветвей следующего, более низкого порядка. Процесс детализации причин продолжается до тех пор, пока не будет найдена корневая причина.

8. Выявляются наиболее значимые и важные причины, влияющие на исследуемую проблему.

9. При анализе должны выявляться и фиксироваться все факторы, даже те, которые кажутся незначительными, так как цель схемы – отыскать наиболее правильный путь и эффективный способ решения проблемы.

10. Причины (факторы) оцениваются и ранжируются по их значимости, при этом выделяются особо важные, которые предположительно оказывают наибольшее влияние на показатель качества.

11. В диаграмму вносится вся необходимая информация: ее название, наименование изделия, имена участников, дата и т. д.

12. Процесс выявления, анализа и объяснения причин является ключевым в структурировании проблемы и переходе к корректирующим действиям.

13. Задавая при анализе каждой причины вопрос «почему?», можно определить первопричину проблемы.

14. Процесс постепенного раскрытия всей цепи последовательно связанных между собой причинных факторов оказывает влияние на проблему качества.

15. По значимым причинам проводится дальнейшая работа и определяются корректирующие или предупреждающие мероприятия.

Пример выполнения задания

Выявить проблему выхода из строя автопогрузчика.



Рис. 9. Диаграмма Исикавы для выявления проблемы выхода из строя автопогрузчика

Ключевой причиной выхода из строя автопогрузчика считаю низкий уровень подготовленности водителя автопогрузчика (рис. 9).

Принимаю меры отправить водителя автопогрузчика на дополнительные курсы по освоению эксплуатации автопогрузчика.

Практическое задание 13

Анализ надежности системы с помощью методики «Древовидная диаграмма»

Цель: получить практические навыки применения древовидной диаграммы.

Задание: построить древовидную диаграмму для устранения выбранной проблемы.

Алгоритм выполнения задания

1. Обозначить проблему в выбранном ранее техпроцессе из прил. 1.
2. Определить обобщенные причины возникновения проблемы.
3. Определить подпричины.
4. Распределить вероятности по обобщенным причинам, затем по подпричинам, приняв вероятность возникновения причины за 1.
5. Оформить протокол.

Теоретические сведения

Причинно-следственный анализ является структурированным методом идентификации возможных причин нежелательного события или проблемы. Данный метод позволяет скомпоновать возможные причинные факторы в обобщенные категории так, чтобы можно было исследовать все возможные гипотезы. Однако применение этого метода позволяет идентифицировать фактические причины. Причины могут быть определены только на основе эмпирических данных или эмпирическим путем. Информацию представляют в виде диаграммы «рыбного скелета» или в виде древовидной схемы.

Причинно-следственный анализ обеспечивает структурированное графическое представление перечня причин одного следствия. В зависимости от объекта исследований следствие может быть положительным (цель) или отрицательным (проблема).

Метод используют для исследования всех возможных сценариев и причин, предложенных группой экспертов. Метод позволяет достичь согласованного мнения относительно наиболее вероятных причин, которые могут быть далее проверены опытным путем, или на основе имеющихся данных. Наиболее целесообразно применять

данный метод в самом начале анализа, что позволяет расширить диапазон представлений о возможных причинах, а затем сформулировать гипотезы, которые далее следует рассмотреть в соответствии с установленной процедурой.

Построение причинно-следственной диаграммы позволяет:

- идентифицировать возможные первопричины и/или основные причины для определенного следствия, проблемы или условия;
- провести анализ ситуации и найти взаимосвязь между взаимодействующими факторами, связанными с исследуемым процессом;
- провести анализ существующих проблем для принятия корректирующих действий.

Преимуществами построения причинно-следственной диаграммы являются:

- содействие определению первоначальных причин проблемы с применением структурированного подхода;
- содействие в работе группе экспертов и более полному использованию знаний экспертов о продукции или процессе;
- применение простого для восприятия типа диаграммы для отображения причинно-следственных связей;
- выявление возможных причин изменений в процессе;
- идентификация областей сбора данных для дальнейших исследований.

Причинно-следственный анализ может быть использован как метод выполнения анализа первопричины.

Входными данными причинно-следственного анализа являются результаты экспертизы, опыт участников рабочей группы, ранее разработанные модели, использованные в предыдущих исследованиях.

Основными этапами причинно-следственного анализа являются:

- установление следствия, которое необходимо проанализировать, и размещение его справа в соответствующем блоке диаграммы. Следствие может быть положительным (цель) или отрицательным (проблема) в зависимости от обстоятельств;
- определение основных (главных) категорий причин. При анализе систем обычно выделяют следующие категории причин: пер-

сонал, оборудование, рабочая среда, процессы и др. Категории определяют в соответствии с объектом исследования;

- указание возможных причин для каждой основной (главной) категории;
- продолжение исследования путем итеративной постановки вопроса «почему?» или «что это вызвало?» для установления связей между причинами;
- анализ всех ветвей и ответвлений, направленный на проверку последовательности и полноты выявленных причин и их отношения к основному следствию;
- идентификация наиболее вероятных причин данного следствия.

Изображение данной диаграммы в виде древовидной схемы аналогично дереву неисправностей, но обычно эту диаграмму строят слева направо, а не сверху вниз. Однако при применении данной диаграммы бывает затруднительно представить результат в количественном выражении и оценить вероятность главного события, поскольку причины в большей степени понимают как возможные факторы, которые могут вызвать рассматриваемое событие, а не отказы с известной вероятностью возникновения.

Причинно-следственную диаграмму обычно применяют для определения качественных оценок. Можно предположить, что вероятность возникновения проблемы составляет 1, и распределить вероятности по обобщенным причинам, затем по подпричинам, основываясь на степени доверия или значимости. Однако зачастую между факторами, которые могут вызвать события, существует взаимосвязь, она способствует возникновению результата более сложным способом, что делает количественную оценку недостоверной.

Пример выполнения задания

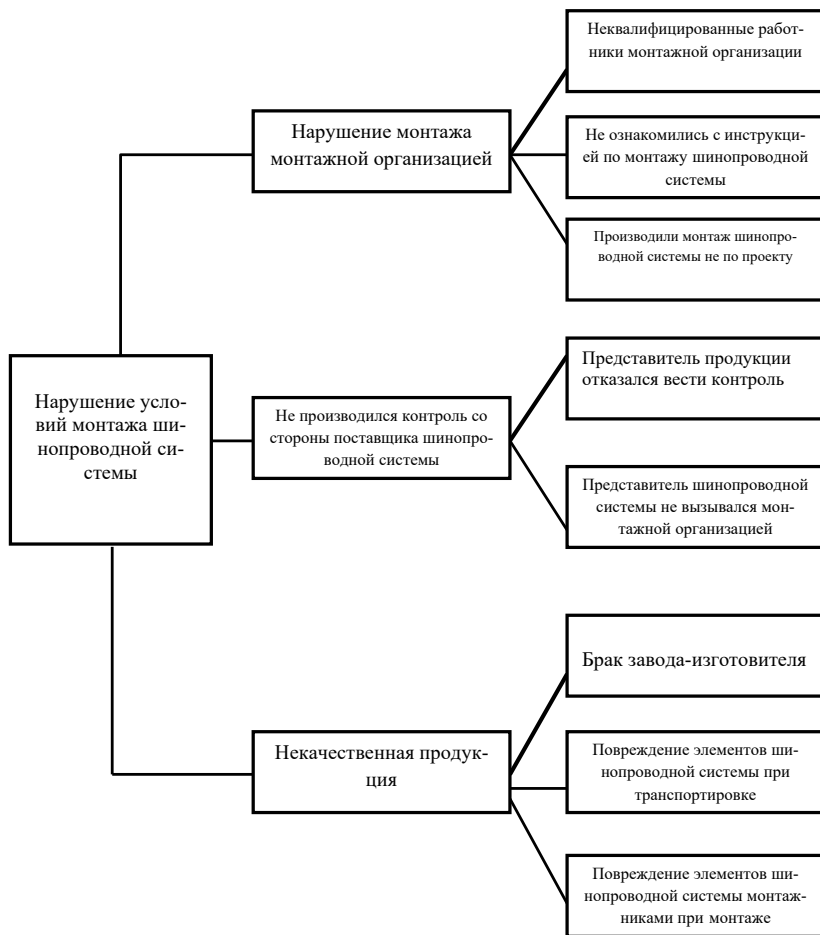


Рис. 10. Пример выполнения древовидной диаграммы

Практическое задание 14

Анализ надежности системы по методике «Галстук-бабочка»

Цель: научиться проводить анализ надежности системы по методике «Галстук-бабочка».

Задание: провести анализ надежности с помощью методики «Галстук-бабочка».

Алгоритм выполнения задания

1. Определить опасное событие (нежелательное событие) в выбранном ранее технологическом процессе из прил. 1.
2. Составить перечень причин события.
3. Определить факторы эскалации опасного события.
4. Определить последствия опасного события.
5. Разработать методы предотвращения опасного события.
6. Нанести данные на диаграмму.

Теоретические сведения

Анализ «Галстук-бабочка» представляет собой схематический способ описания и анализа пути развития опасного события от причин до последствий. Данный метод сочетает исследование причин события с помощью дерева неисправностей и анализ последствий с помощью дерева событий. Однако основное внимание метода «Галстук-бабочка» сфокусировано на барьерах между причинами и опасными событиями и опасными событиями и последствиями. Диаграммы «Галстук-бабочка» могут быть построены на основе выявленных неисправностей и деревьев событий, но чаще их строят непосредственно в процессе проведения мозгового штурма.

Анализ «Галстук-бабочка» используют для исследования риска на основе демонстрации диапазона возможных причин и последствий. Метод следует применять в ситуации, когда сложно провести полный анализ дерева неисправностей или когда исследование в большей мере направлено на создание барьеров или средств управления для каждого пути отказа. Метод может быть полезен в ситуации, когда существуют точно установленные независимые пути, приводящие к отказу.

Анализ «Галстук-бабочка» часто значительно более прост для понимания, чем анализ дерева событий или дерева неисправностей, и, следовательно, он может быть полезен для обмена информацией при использовании более сложных методов.

Входными данными метода является информация о причинах и последствиях опасных событий, риске, барьерах и средствах управления, которые могут их предотвратить, смягчить или стимулировать.

Анализ «Галстук-бабочка» следует строить в соответствии со следующей процедурой:

1) определение опасного события, выбранного для анализа, и отображение его в качестве центрального узла «галстука-бабочки»;

2) составление перечня причин события с помощью исследования источников риска (или опасности);

3) идентификация механизма развития опасности до критического события;

4) проведение линии, отделяющей причину от события, что позволяет сформировать левую сторону «бабочки». Дополнительно могут быть идентифицированы и включены в диаграмму факторы, которые, возможно, приведут к эскалации опасного события и его последствий;

5) нанесение поперек линии вертикальных преград, соответствующих барьерам, предотвращающим нежелательные последствия. Если определены факторы, которые в состоянии вызвать эскалацию опасного события, то дополнительно могут быть представлены барьеры, предупреждающие подобную эскалацию. Данный подход может быть использован для положительных последствий, когда преграды отражают средства управления, стимулирующие появление и развитие события;

6) идентификация в правой стороне «бабочки» различных последствий опасного события и проведение линий, соединяющих центральное событие с каждым возможным последствием;

7) изображение барьеров в качестве преград по направлению к последствию. Данный подход может быть использован для положительных последствий, когда преграды отражают средства управления, обеспечивающие появление благоприятных последствий;

8) отображение под диаграммой «Галстук-бабочка» вспомогательных функций управления, относящихся к средствам управления (таких как обучение и проверки), и соединение их с соответствующим средством управления.

В диаграмме «Галстук-бабочка» могут быть применены некоторые виды количественной оценки, например, в ситуации, когда пути независимы и известна вероятность конкретных последствий или результатов. Подобная количественная оценка необходима для обеспечения эффективности управления. Однако следует учитывать, что во многих ситуациях пути и барьеры взаимосвязаны и средства управления могут быть связаны с выбранным методом оценки, следовательно, эффективность управления является неопределенной. Количественную оценку для анализа «Галстук-бабочка» часто выполняют с помощью методов ФТА и ЕТА.

Выходными данными метода является простая диаграмма, показывающая основные пути опасных событий и установленные барьеры, направленные на предотвращение или смягчение нежелательных последствий и/или усиление и ускорение ожидаемых последствий.

Преимуществами метода «Галстук-бабочка» являются следующие:

- обеспечивает наглядное, простое и ясное графическое представление проблемы;
- ориентирован на средства управления, направленные на предупреждение и/или уменьшение последствий опасных событий и оценку их эффективности;
- может быть применен в отношении благоприятных последствий;
- применение метода не требует привлечения высококвалифицированных экспертов;
- не позволяет отображать совокупности причин, возникающих одновременно и вызывающих последствия (случай, когда в дереве неисправностей, отражающем левую сторону диаграммы, находится логический элемент «И»);
- может представить сложные ситуации в чрезмерно упрощенном виде, особенно при применении количественной оценки.

Пример выполнения задания

Провести анализ ситуации «Выход из строя автопогрузчика».

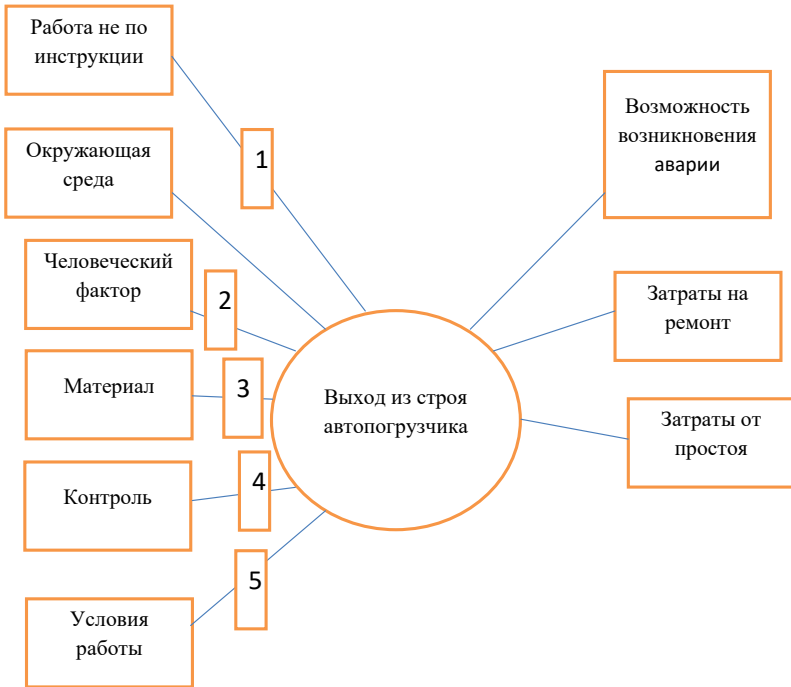


Рис. 11. Пример выполнения диаграммы «Галстук-бабочка»:

- 1 – обеспечение контроля работы по инструкции;
- 2 – проведение обучения; 3 – проведение контроля соответствия;
- 4 – проведение своевременного технического обслуживания;
- 5 – пересмотр графика работы

Барьеры, изображенные на диаграмме (рис. 11), фактически являются перечнем тех мероприятий, которые следует внедрить для предотвращения данного нежелательного события.

Практическое задание 15

Анализ надежности системы по радиальной диаграмме

Цель: научиться проводить анализ надежности системы по радиальной диаграмме.

Задание: построить радиальную диаграмму.

Алгоритм выполнения задания

1. Выбрать вариант задания согласно табл. 15.2.
2. Этапы построения диаграммы:
 - 1) начертить окружность. Радиус этой окружности равен среднему показателю изучаемого явления;
 - 2) разделить окружность на секторы. Число секторов должно соответствовать интервалам изучаемого времени цикла. Если изучается явление за кварталы года, то окружность следует разделить на четыре сектора, если необходимо сравнить какие-либо данные, представленные по дням недели, то окружность следует разделить на семь секторов. В случае если анализируемая информация рассматривается за годовой период, то окружность следует разделить на 12 секторов;
 - 3) на каждом радиусе окружности откладываются в выбранном масштабе значения статистических данных за определенный период времени;
 - 4) соединить конечные точки отрезков линиями. Полученный многоугольник изображает колебания значения статистических данных за определенный период времени.

Студент произвольно выбирает вариант задания из табл. 15.2.

Теоретические сведения

Радиальная диаграмма используется для наглядного сопоставления различных значений статистической совокупности, изменяющихся во времени.

Особенности построения лучевой диаграммы следующие:

1. В качестве точки отсчета служит точка начала координат.
2. Из точки начала координат через определенный угол выходят лучи.

3. На каждом луче последовательно откладываются отрезки, длина которых должна быть прямо пропорциональна статистическим значениям, имеющимся в нашем распоряжении.

Часто такого типа диаграммы используют для проведения анализа имеющейся в распоряжении статистической информации.

Пример выполнения задания

Таблица 15.1

Исходные данные – число отказов системы за год

Месяц	Число отказов системы
Январь	11
Февраль	4
Март	2
Апрель	1
Май	2
Июнь	3
Июль	4
Август	11
Сентябрь	7
Октябрь	7
Ноябрь	8
Декабрь	5

Начертим окружность и разделим её на 12 секторов, поскольку представленная для анализа информация – это число отказов системы за год, то есть за 12 месяцев.

Отложим на каждом радиусе значение числа отказов в каждом месяце.

Соединим конечные точки отложенных отрезков. Полученный многоугольник и будет изображать колебания значения статистических данных за год (рис. 12).

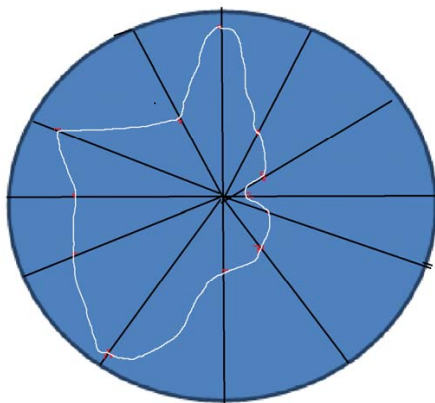


Рис. 12. Пример построения радиальной диаграммы

Таблица 15.2

Исходные данные для построения радиальной диаграммы

Вариант 1

Месяц	Число отказов
Январь	1
Февраль	9
Март	0
Апрель	4
Май	1
Июнь	2
Июль	7
Август	10
Сентябрь	5
Октябрь	5
Ноябрь	3
Декабрь	7

Вариант 2

Месяц	Число отказов
Январь	10
Февраль	0
Март	0
Апрель	6
Май	4
Июнь	2
Июль	2
Август	1
Сентябрь	7
Октябрь	5
Ноябрь	3
Декабрь	3

Вариант 3

Месяц	Число отказов
Январь	1
Февраль	1
Март	0
Апрель	7
Май	6
Июнь	2
Июль	2
Август	0
Сентябрь	6
Октябрь	5
Ноябрь	3
Декабрь	8

Вариант 4

День недели	Число отказов
Понедельник	6
Вторник	1
Среда	0
Четверг	7
Пятница	6
Суббота	4
Воскресенье	2

Вариант 5

День недели	Число отказов
Понедельник	0
Вторник	2
Среда	4
Четверг	8
Пятница	4
Суббота	6
Воскресенье	0

Вариант 6

День недели	Число отказов
Понедельник	1
Вторник	3
Среда	4
Четверг	6
Пятница	7
Суббота	6
Воскресенье	1

Вариант 7

День недели	Число отказов
Понедельник	0
Вторник	2
Среда	3
Четверг	8
Пятница	4
Суббота	6
Воскресенье	1

Вариант 8

Месяц	Число отказов
Январь	10
Февраль	2
Март	4
Апрель	1
Май	4
Июнь	2
Июль	2
Август	1
Сентябрь	7
Октябрь	4
Ноябрь	3
Декабрь	3

Вариант 9

Месяц	Число отказов
Январь	7
Февраль	2
Март	4
Апрель	6
Май	4
Июнь	2

Месяц	Число отказов
Июль	2
Август	1
Сентябрь	7
Октябрь	5
Ноябрь	9
Декабрь	8

Вариант 10

Месяц	Число отказов
Январь	10
Февраль	2
Март	4
Апрель	6
Май	3
Июнь	2
Июль	2
Август	11
Сентябрь	7
Октябрь	5
Ноябрь	3
Декабрь	10

Вариант 11

Месяц	Число отказов
Январь	0
Февраль	2
Март	4
Апрель	3
Май	4
Июнь	2
Июль	2
Август	1

Месяц	Число отказов
Сентябрь	5
Октябрь	5
Ноябрь	3
Декабрь	1

Вариант 12

Месяц	Число отказов
Январь	8
Февраль	1
Март	4
Апрель	3
Май	5
Июнь	1
Июль	2
Август	1
Сентябрь	5
Октябрь	6
Ноябрь	3
Декабрь	2

Вариант 13

День недели	Число отказов
Понедельник	2
Вторник	5
Среда	3
Четверг	8
Пятница	4
Суббота	8
Воскресенье	1

Вариант 14

День недели	Число отказов
Понедельник	6
Вторник	2
Среда	8
Четверг	7
Пятница	4
Суббота	6
Воскресенье	9

Вариант 15

День недели	Число отказов
Понедельник	3
Вторник	1
Среда	3
Четверг	5
Пятница	4
Суббота	7
Воскресенье	7

Вариант 16

Месяц	Число отказов
Январь	7
Февраль	2
Март	4
Апрель	0
Май	4
Июнь	10
Июль	2
Август	1
Сентябрь	9
Октябрь	5
Ноябрь	3
Декабрь	8

Вариант 17

Месяц	Число отказов
Январь	11
Февраль	2
Март	4
Апрель	5
Май	4
Июнь	6
Июль	2
Август	7
Сентябрь	5
Октябрь	2
Ноябрь	3
Декабрь	2

Вариант 18

День недели	Число отказов
Понедельник	9
Вторник	5
Среда	2
Четверг	8
Пятница	1
Суббота	8
Воскресенье	1

Вариант 19

День недели	Число отказов
Понедельник	9
Вторник	6
Среда	8
Четверг	9
Пятница	2
Суббота	8
Воскресенье	9

Вариант 20

День недели	Число отказов
Понедельник	10
Вторник	7
Среда	8
Четверг	7
Пятница	3
Суббота	9
Воскресенье	2

Вариант 21

Месяц	Число отказов
Январь	7
Февраль	1
Март	4
Апрель	5
Май	5
Июнь	6
Июль	9
Август	7
Сентябрь	0
Октябрь	2
Ноябрь	7
Декабрь	4

Вариант 22

Месяц	Число отказов
Январь	4
Февраль	8
Март	4
Апрель	7
Май	3
Июнь	6

Месяц	Число отказов
Июль	2
Август	2
Сентябрь	5
Октябрь	4
Ноябрь	0
Декабрь	10

Вариант 23

Месяц	Число отказов
Январь	7
Февраль	4
Март	4
Апрель	5
Май	3
Июнь	1
Июль	2
Август	2
Сентябрь	5
Октябрь	4
Ноябрь	3
Декабрь	7

Вариант 24

День недели	Число отказов
Понедельник	4
Вторник	7
Среда	8
Четверг	7
Пятница	3
Суббота	0
Воскресенье	9

Вариант 25

День недели	Число отказов
Понедельник	9
Вторник	8
Среда	8
Четверг	7
Пятница	3
Суббота	9
Воскресенье	1

Вариант 26

День недели	Число отказов
Понедельник	2
Вторник	7
Среда	4
Четверг	7
Пятница	3
Суббота	6
Воскресенье	1

Вариант 27

День недели	Число отказов
Понедельник	9
Вторник	9
Среда	2
Четверг	7
Пятница	0
Суббота	9
Воскресенье	1

Вариант 28

День недели	Число отказов
Понедельник	7
Вторник	8
Среда	4
Четверг	4
Пятница	2
Суббота	9
Воскресенье	1

Вариант 29

Месяц	Число отказов
Январь	11
Февраль	7
Март	4
Апрель	6
Май	4
Июнь	2
Июль	1
Август	1
Сентябрь	7
Октябрь	5
Ноябрь	9
Декабрь	4

Вариант 30

Месяц	Число отказов
Январь	7
Февраль	0
Март	1
Апрель	1
Май	3
Июнь	2

Месяц	Число отказов
Июль	2
Август	1
Сентябрь	8
Октябрь	5
Ноябрь	0
Декабрь	8

Вариант 31

День недели	Число отказов
Понедельник	7
Вторник	8
Среда	6
Четверг	7
Пятница	2
Суббота	2
Воскресенье	1

Вариант 32

День недели	Число отказов
Понедельник	10
Вторник	8
Среда	7
Четверг	7
Пятница	3
Суббота	9
Воскресенье	1

Вариант 33

День недели	Число отказов
Понедельник	4
Вторник	8
Среда	0
Четверг	7

День недели	Число отказов
Пятница	3
Суббота	9
Воскресенье	1

Вариант 34

Месяц	Число отказов
Январь	11
Февраль	2
Март	4
Апрель	6
Май	4
Июнь	2
Июль	2
Август	0
Сентябрь	7
Октябрь	1
Ноябрь	9
Декабрь	8

Вариант 35

Месяц	Число отказов
Январь	1
Февраль	2
Март	4
Апрель	6
Май	5
Июнь	3
Июль	2
Август	1
Сентябрь	7
Октябрь	5
Ноябрь	9
Декабрь	11

Вариант 36

Месяц	Число отказов
Январь	3
Февраль	2
Март	4
Апрель	2
Май	8
Июнь	2
Июль	2
Август	10
Сентябрь	7
Октябрь	2
Ноябрь	9
Декабрь	8

Вариант 37

День недели	Число отказов
Понедельник	2
Вторник	8
Среда	1
Четверг	7
Пятница	4
Суббота	9
Воскресенье	1

Вариант 38

День недели	Число отказов
Понедельник	1
Вторник	8
Среда	2
Четверг	7
Пятница	3
Суббота	9
Воскресенье	9

Вариант 39

День недели	Число отказов
Понедельник	0
Вторник	8
Среда	4
Четверг	7
Пятница	3
Суббота	9
Воскресенье	2

Вариант 40

Месяц	Число отказов
Январь	3
Февраль	2
Март	4
Апрель	2
Май	0
Июнь	2
Июль	1
Август	1
Сентябрь	7
Октябрь	5
Ноябрь	9
Декабрь	8

Вариант 41

Месяц	Число отказов
Январь	9
Февраль	9
Март	7
Апрель	2
Май	1
Июнь	4

Месяц	Число отказов
Июль	2
Август	1
Сентябрь	8
Октябрь	5
Ноябрь	1
Декабрь	8

Вариант 42

День недели	Число отказов
Понедельник	2
Вторник	8
Среда	1
Четверг	4
Пятница	3
Суббота	9
Воскресенье	7

Вариант 43

Месяц	Число отказов
Январь	5
Февраль	10
Март	3
Апрель	2
Май	6
Июнь	2
Июль	7
Август	1
Сентябрь	7
Октябрь	2
Ноябрь	9
Декабрь	2

Вариант 44

Месяц	Число отказов
Январь	5
Февраль	2
Март	1
Апрель	2
Май	1
Июнь	2
Июль	3
Август	1
Сентябрь	7
Октябрь	5
Ноябрь	3
Декабрь	8

Вариант 45

День недели	Число отказов
Понедельник	5
Вторник	8
Среда	3
Четверг	7
Пятница	3
Суббота	9
Воскресенье	1

Вариант 46

День недели	Число отказов
Понедельник	6
Вторник	8
Среда	0
Четверг	7
Пятница	3
Суббота	0
Воскресенье	1

Вариант 47

День недели	Число отказов
Понедельник	5
Вторник	8
Среда	1
Четверг	7
Пятница	3
Суббота	9
Воскресенье	2

Вариант 48

День недели	Число отказов
Понедельник	4
Вторник	8
Среда	3
Четверг	7
Пятница	3
Суббота	2
Воскресенье	1

Вариант 49

Месяц	Число отказов
Январь	3
Февраль	2
Март	4
Апрель	2
Май	1
Июнь	3
Июль	2
Август	1
Сентябрь	7
Октябрь	5
Ноябрь	7
Декабрь	8

Вариант 50

Месяц	Число отказов
Январь	9
Февраль	2
Март	6
Апрель	2
Май	3
Июнь	2
Июль	2
Август	1
Сентябрь	7
Октябрь	5
Ноябрь	9
Декабрь	3

Практическое задание 16

Анализ надежности с помощью методики «Диаграмма Парето»

Цель: получить практические навыки применения диаграммы Парето.

Задание: построить диаграмму Парето.

Алгоритм выполнения задания

1. Выбрать вариант задания из табл. 16.3.
2. В прямоугольной системе координат по оси абсцисс отложить равные отрезки, соответствующие рассматриваемым факторам, по оси ординат – величину их вклада в рассматриваемую проблему.
3. Построить диаграмму в виде столбика.
4. Нанести на диаграмму все обозначения и надписи.
5. Оформить протокол отчета согласно приведенному примеру.

Исходные данные для построения диаграммы удобно представлять в виде таблицы (табл. 16.1).

Диаграмму можно построить, воспользовавшись стандартными диаграммами *Word*.

Студент выбирает вариант согласно табл. 16.3 произвольно.

Таблица 16.1

Исходные данные

Виды отказов	Число отказов
Тип 1	104
Тип 2	42
Тип 3	20
Тип 4	10
Тип 5	6
Тип 6	4
Тип 7	14
Итого	200

Теоретические сведения

Анализ Парето является одним из семи основных инструментальных средств управления качеством (листы проверки, диаграммы Парето, диаграммы Исикавы, диаграммы последовательности операций, гистограммы, графики рассеивания и контрольные карты). Эти инструментальные средства находят применение при разработке надежности. Принцип Парето устанавливает, что небольшое подмножество проблем происходит намного чаще, чем все остальные (полезное большинство). Этот принцип можно сформулировать следующим образом: 20 % причин вызывают 80 % проблем.

Цель анализа Парето состоит в том, чтобы сосредоточить усилия на тех проблемах, которые имеют самый высокий потенциал для улучшения и помогают в распределении ресурсов, чтобы использовать их там, где они наиболее эффективны.

Диаграмма Парето является одним из наиболее часто используемых инструментальных средств улучшения. С помощью диаграммы определяют относительную важность проблемы в наглядной форме. Кроме того, диаграмма помогает предотвращать смещение проблемы, когда ее решение устраняет одни проблемы, но усугубляет другие. С помощью диаграммы можно учесть воздействие изменения проекта на эффективность изделия путем управления изменениями следующим образом:

- путем разделения главной причины на категории (высшую полосу делят на подпункты в соответствующей диаграмме Парето);
- путем изображения новых полос Парето рядом с оригиналом Парето, при этом показывают воздействия изменений;
- путем замены источника данных: данные, собранные по той же проблеме, но из различных источников (система/оборудование, расположение, заказчик и т. д.), отображаются рядом с диаграммой Парето;
- путем изменения измерений (используют те же самые характеристики, но измеренные другим способом).

Анализ Парето может быть использован на всех стадиях программы надежности – от концепции и определения, проектирования и разработки, производства и инсталляции до эксплуатации и технического обслуживания.

Для эффективного применения анализа Парето требуется следующее:

- решить, о какой проблеме вы хотите больше знать (то есть об отказах или их причинах);
- выбрать причины или проблемы, которые необходимо отслеживать, сравнивать и ранжировать (с помощью существующих данных, мозгового штурма, экспериментов);
- выбрать наиболее значимый параметр для измерений, например, частоту или цену;
- выбрать период времени для исследований;
- составить список исследуемых данных, расположив их в порядке убывания;
- вычислить общее количество всех элементов и процентный вклад каждого элемента;
- начертить гистограмму, нанося категории на горизонтальную линию, а частоты (или затраты) — на вертикальную линию;
- изобразить общую кривую, если это возможно;
- нанести на диаграмму соответствующие обозначения;
- интерпретировать результаты.

Достоинства анализа Парето:

- эффективное графическое представление анализа проблемы;
- анализ очень прост и не требует много времени и усилий;
- может быть использован для принятия решений как в технических, так и в других областях.

Ограничения:

- анализ Парето служит инструментом для улучшения обзора данных. Исследование причин проблемы должно проводиться экспертами, использующими любые необходимые методы;
- к анализу должны привлекаться опытные специалисты.

Пример выполнения задания

Таблица 16.2

Пример представления исходных данных

Виды отказов	Число отказов
Тип 1	104
Тип 2	42
Тип 3	20
Тип 4	10
Тип 5	6
Тип 6	4
Тип 7	14
Итого	200

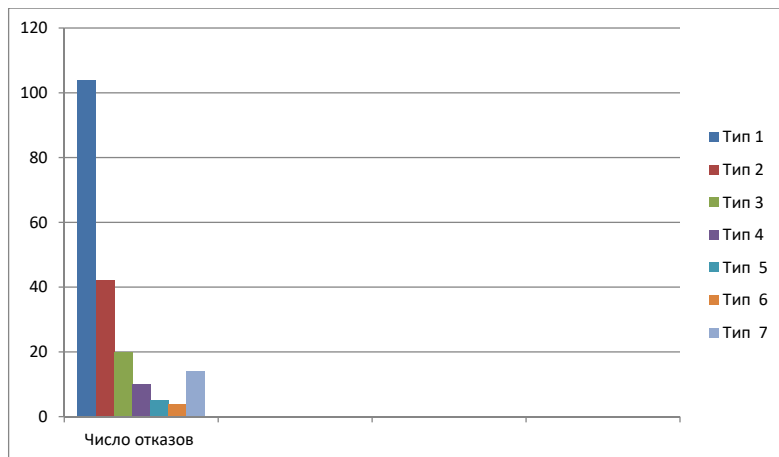


Рис. 13. Пример построения диаграммы Парето

Таблица 16.3

Задания для самостоятельного выполнения

Вариант	Вид отказов	Число отказов системы
1	Тип 1	46
	Тип 2	34
	Тип 3	12
	Тип 4	13
	Тип 5	45
2	Тип 1	98
	Тип 2	75
	Тип 3	1
	Тип 4	43
	Тип 5	5
3	Тип 1	2
	Тип 2	11
	Тип 3	4
	Тип 4	5
	Тип 5	1
	Тип 6	7
4	Тип 1	5
	Тип 2	3
	Тип 3	4
	Тип 4	7
	Тип 5	1
	Тип 6	1
5	Тип 1	1
	Тип 2	8
	Тип 3	1
	Тип 4	5
	Тип 5	2
	Тип 6	3

Вариант	Вид отказов	Число отказов системы
6	Тип 1	22
	Тип 2	31
	Тип 3	16
	Тип 4	98
	Тип 5	45
7	Тип 1	38
	Тип 2	77
	Тип 3	90
	Тип 4	76
	Тип 5	56
8	Тип 1	40
	Тип 2	62
	Тип 3	10
	Тип 4	11
	Тип 5	40
9	Тип 1	89
	Тип 2	78
	Тип 3	10
	Тип 4	97
	Тип 5	9
10	Тип 1	16
	Тип 2	76
	Тип 3	67
	Тип 4	23
	Тип 5	11
11	Тип 1	23
	Тип 2	28
	Тип 3	45
	Тип 4	3
	Тип 5	12

Вариант	Вид отказов	Число отказов системы
12	Тип 1	70
	Тип 2	92
	Тип 3	13
	Тип 4	13
	Тип 5	85
13	Тип 1	23
	Тип 2	65
	Тип 3	77
	Тип 4	3
	Тип 5	43
14	Тип 1	46
	Тип 2	33
	Тип 3	18
	Тип 4	19
	Тип 5	64
15	Тип 1	55
	Тип 2	78
	Тип 3	90
	Тип 4	53
	Тип 5	11
16	Тип 1	51
	Тип 2	18
	Тип 3	95
	Тип 4	35
	Тип 5	16
17	Тип 1	44
	Тип 2	65
	Тип 3	87
	Тип 4	35
	Тип 5	10

Вариант	Вид отказов	Число отказов системы
18	Тип 1	13
	Тип 2	16
	Тип 3	97
	Тип 4	45
	Тип 5	22
19	Тип 1	56
	Тип 2	87
	Тип 3	96
	Тип 4	50
	Тип 5	19
20	Тип 1	58
	Тип 2	15
	Тип 3	78
	Тип 4	79
	Тип 5	34
21	Тип 1	55
	Тип 2	78
	Тип 3	90
	Тип 4	53
	Тип 5	11
22	Тип 1	12
	Тип 2	45
	Тип 3	76
	Тип 4	41
	Тип 5	29
23	Тип 1	95
	Тип 2	62
	Тип 3	27
	Тип 4	2
	Тип 5	15

Вариант	Вид отказов	Число отказов системы
24	Тип 1	32
	Тип 2	34
	Тип 3	59
	Тип 4	50
	Тип 5	20
25	Тип 1	48
	Тип 2	87
	Тип 3	56
	Тип 4	35
	Тип 5	11
26	Тип 1	30
	Тип 2	34
	Тип 3	52
	Тип 4	50
	Тип 5	20
27	Тип 1	23
	Тип 2	34
	Тип 3	50
	Тип 4	57
	Тип 5	20
28	Тип 1	20
	Тип 2	14
	Тип 3	15
	Тип 4	53
	Тип 5	20
29	Тип 1	13
	Тип 2	43
	Тип 3	26
	Тип 4	50
	Тип 5	21

Вариант	Вид отказов	Число отказов системы
30	Тип 1	38
	Тип 2	30
	Тип 3	50
	Тип 4	56
	Тип 5	20
31	Тип 1	53
	Тип 2	58
	Тип 3	57
	Тип 4	51
	Тип 5	25
32	Тип 1	25
	Тип 2	34
	Тип 3	25
	Тип 4	50
	Тип 5	18
33	Тип 1	44
	Тип 2	37
	Тип 3	50
	Тип 4	53
	Тип 5	26
34	Тип 1	50
	Тип 2	39
	Тип 3	49
	Тип 4	48
	Тип 5	50
35	Тип 1	17
	Тип 2	34
	Тип 3	34
	Тип 4	50
	Тип 5	11

Вариант	Вид отказов	Число отказов системы
36	Тип 1	56
	Тип 2	30
	Тип 3	52
	Тип 4	50
	Тип 5	52
37	Тип 1	28
	Тип 2	26
	Тип 3	88
	Тип 4	51
	Тип 5	19
38	Тип 1	15
	Тип 2	34
	Тип 3	40
	Тип 4	49
	Тип 5	45
39	Тип 1	44
	Тип 2	30
	Тип 3	51
	Тип 4	80
	Тип 5	28
40	Тип 1	26
	Тип 2	44
	Тип 3	34
	Тип 4	21
	Тип 5	20
41	Тип 1	21
	Тип 2	34
	Тип 3	17
	Тип 4	21
	Тип 5	24

Вариант	Вид отказов	Число отказов системы
42	Тип 1	32
	Тип 2	38
	Тип 3	54
	Тип 4	37
	Тип 5	13
43	Тип 1	45
	Тип 2	37
	Тип 3	23
	Тип 4	56
	Тип 5	39
44	Тип 1	16
	Тип 2	34
	Тип 3	19
	Тип 4	43
	Тип 5	42
45	Тип 1	12
	Тип 2	38
	Тип 3	61
	Тип 4	58
	Тип 5	57
46	Тип 1	45
	Тип 2	34
	Тип 3	34
	Тип 4	44
	Тип 5	18
47	Тип 1	16
	Тип 2	25
	Тип 3	50
	Тип 4	49
	Тип 5	27

Вариант	Вид отказов	Число отказов системы
48	Тип 1	25
	Тип 2	22
	Тип 3	44
	Тип 4	21
	Тип 5	24
49	Тип 1	12
	Тип 2	36
	Тип 3	49
	Тип 4	20
	Тип 5	10
50	Тип 1	50
	Тип 2	18
	Тип 3	45
	Тип 4	53
	Тип 5	24

Практическое задание 17

Расчет техногенного риска

Цель: получить практические навыки проведения количественной оценки риска.

Задание: провести количественную оценку риска.

Алгоритм выполнения задания

1. Ознакомиться с методами определения количественной оценки риска.
2. Произвести численную оценку риска согласно варианту задания из табл. 17.2.
3. Проанализировать данные табл. 17.1 и сделать вывод.
4. Оформить протокол отчета.

Студент выбирает вариант произвольно согласно табл. 17.2.

Теоретические сведения

Количественная оценка риска – это процесс оценки численных значений вероятности и последствий нежелательных событий и явлений.

Обычно риск при его оценке характеризуют вероятностью события P и последствиями X :

$$R = P \cdot X.$$

Важно учитывать, что для повышения достоверности получаемых результатов при оценке риска необходимо рассмотреть как нормальный режим работы, так и работу в режиме аварийной ситуации. Риск при работе в нормальном режиме обычно обозначается R_n , риск при работе в аварийном режиме – $R_{ав}$.

Таким образом, оценка риска может быть рассчитана следующей формулой:

$$R = R_n + R_{ав}; \quad R = R_n \cdot P_n + R_{ав} \cdot P_{ав}.$$

Если последствия неизвестны, то под риском понимают вероятность наступления определенного сочетания нежелательных событий:

$$R = \sum P_i.$$

Чаще всего техногенный риск рассчитывают по формуле:

$$R = P \cdot U,$$

где P – вероятность нежелательного события; U – ущерб, соответствующий нежелательному событию.

Если каждому нежелательному событию, происходящему с вероятностью P_i , соответствует ущерб U_i , тогда величина риска будет представлять собой ожидаемую величину ущерба U :

$$R = U = \sum P_i \cdot U_i.$$

В случае если все вероятности наступления нежелательного события одинаковы, то есть $P_i = P_1 = P_2 \dots$ (где $i = 1, 2, \dots, n$), то величина риска будет равна: $R = P \sum U_i$.

Пример выполнения задания

Провести численную оценку риска чрезвычайного события технической системы, состоящей из четырех подсистем с независимыми отказами.

Вероятность отказов подсистем составляет: $P_1 = 10^{-4}$, $P_2 = 10^{-2}$, $P_3 = 10^{-2}$, $P_4 = 10^{-3}$.

Ожидаемые ущербы от отказов составляют: $U_1 = 12 \cdot 10^6$ рублей, $U_2 = 20 \cdot 10^6$ рублей, $U_3 = 35 \cdot 10^6$ рублей, $U_4 = 58 \cdot 10^6$ рублей.

Величина риска чрезвычайного происшествия технической системы составляет:

$$R = \sum P_i \cdot U_i = 10^{-4}(12 \cdot 10^6) + 10^{-2}(20 \cdot 10^6) + 10^{-2}(35 \cdot 10^6) + 10^{-3}(58 \cdot 10^6) = 609,2 \cdot 10^3.$$

Вывод: исходя из табл. 17.1, риск чрезвычайного происшествия технической системы является высоким.

Таблица 17.1

Оценка величины риска

Полученное значение величины риска	Оценка величины риска
Менее $100 \cdot 10^3$	Малый риск
$100 \cdot 10^3 - 300 \cdot 10^4$	Средний риск
Более $300 \cdot 10^3$	Высокий риск

Примечание: приведенная шкала является условной.

Таблица 17.2

Варианты для выполнения заданий

№ варианта	Вероятность отказов, P_i	Ожидаемый ущерб, U_i
1	$10^{-3}; 10^{-6}; 10^{-4}$	$14 \cdot 10^6$ руб.; $50 \cdot 10^3$ руб.; $34 \cdot 10^4$ руб.
2	$10^{-4}; 10^{-2}; 10^{-6}$	$20 \cdot 10^6$ руб.; $50 \cdot 10^3$ руб.; $30 \cdot 10^4$ руб.
3	$10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-5}$	$1 \cdot 10^6$ руб.; $56 \cdot 10^6$ руб.; $39 \cdot 10^6$ руб.
4	$10^{-2}; 10^{-3}; 10^{-6}$	$45 \cdot 10^6$ руб.; $78 \cdot 10^7$ руб.; $90 \cdot 10^6$ руб.
5	$10^{-3}; 10^{-4}; 10^{-4}$	$19 \cdot 10^6$ руб.; $54 \cdot 10^3$ руб.; $44 \cdot 10^4$ руб.
6	$10^{-4}; 10^{-5}; 10^{-2}$	$60 \cdot 10^6$ руб.; $23 \cdot 10^6$ руб.; $87 \cdot 10^4$ руб.
7	$10^{-2}; 10^{-4}; 10^{-5}$	$10 \cdot 10^4$ руб.; $35 \cdot 10^4$ руб.; $20 \cdot 10^4$ руб.
8	$10^{-2}; 10^{-4}; 10^{-5}$	$55 \cdot 10^6$ руб.; $67 \cdot 10^6$ руб.; $12 \cdot 10^6$ руб.
9	$10^{-3}; 10^{-4}; 10^{-4}$	$25 \cdot 10^6$ руб.; $11 \cdot 10^4$ руб.; $16 \cdot 10^3$ руб.
10	$10^{-2}; 10^{-4}; 10^{-3}$	$10 \cdot 10^3$ руб.; $88 \cdot 10^4$ руб.; $65 \cdot 10^6$ руб.
11	$10^{-3}; 10^{-3}; 10^{-6}$	$14 \cdot 10^4$ руб.; $50 \cdot 10^5$ руб.; $34 \cdot 10^4$ руб.
12	$10^{-6}; 10^{-5}; 10^{-4}$	$14 \cdot 10^4$ руб.; $50 \cdot 10^8$ руб.; $34 \cdot 10^3$ руб.
13	$10^{-4}; 10^{-5}; 10^{-6}$	$60 \cdot 10^5$ руб.; $50 \cdot 10^6$ руб.; $70 \cdot 10^2$ руб.
14	$10^{-2}; 10^{-3}; 10^{-6}$	$55 \cdot 10^2$ руб.; $20 \cdot 10^3$ руб.; $16 \cdot 10^5$ руб.
15	$10^{-2}; 10^{-4}; 10^{-3}$	$44 \cdot 10^4$ руб.; $60 \cdot 10^6$ руб.; $60 \cdot 10^5$ руб.
16	$10^{-3}; 10^{-5}; 10^{-7}$	$56 \cdot 10^5$ руб.; $78 \cdot 10^6$ руб.; $35 \cdot 10^4$ руб.
17	$10^{-8}; 10^{-7}; 10^{-4}$	$10 \cdot 10^6$ руб.; $10 \cdot 10^4$ руб.; $55 \cdot 10^3$ руб.
18	$10^{-3}; 10^{-5}; 10^{-8}$	$1 \cdot 10^4$ руб.; $59 \cdot 10^5$ руб.; $39 \cdot 10^4$ руб.
19	$10^{-3}; 10^{-4}; 10^{-6}$	$15 \cdot 10^6$ руб.; $55 \cdot 10^4$ руб.; $36 \cdot 10^3$ руб.
20	$10^{-2}; 10^{-4}; 10^{-7}$	$36 \cdot 10^5$ руб.; $50 \cdot 10^4$ руб.; $11 \cdot 10^4$ руб.
21	$10^{-2}; 10^{-4}; 10^{-5}$	$17 \cdot 10^2$ руб.; $58 \cdot 10^5$ руб.; $65 \cdot 10^2$ руб.
22	$10^{-3}; 10^{-6}; 10^{-8}$	$19 \cdot 10^5$ руб.; $80 \cdot 10^4$ руб.; $40 \cdot 10^3$ руб.
23	$10^{-6}; 10^{-4}; 10^{-5}$	$40 \cdot 10^3$ руб.; $42 \cdot 10^4$ руб.; $77 \cdot 10^3$ руб.
24	$10^{-2}; 10^{-3}; 10^{-4}$	$53 \cdot 10^3$ руб.; $51 \cdot 10^5$ руб.; $38 \cdot 10^4$ руб.
25	$10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-2}$	$16 \cdot 10^2$ руб.; $60 \cdot 10^3$ руб.; $35 \cdot 10^5$ руб.
26	$10^{-5}; 10^{-5}; 10^{-6}$	$28 \cdot 10^5$ руб.; $79 \cdot 10^6$ руб.; $11 \cdot 10^4$ руб.
27	$10^{-3}; 10^{-7}; 10^{-6}$	$62 \cdot 10^5$ руб.; $15 \cdot 10^6$ руб.; $65 \cdot 10^4$ руб.
28	$10^{-4}; 10^{-5}; 10^{-7}$	$50 \cdot 10^5$ руб.; $45 \cdot 10^6$ руб.; $38 \cdot 10^4$ руб.
29	$10^{-3}; 10^{-8}; 10^{-7}$	$77 \cdot 10^5$ руб.; $78 \cdot 10^6$ руб.; $79 \cdot 10^4$ руб.

№ варианта	Вероятность отказов, P_i	Ожидаемый ущерб, U_i
30	$10^{-5}; 10^{-4}; 10^{-8}$	$56 \cdot 10^5$ руб.; $78 \cdot 10^6$ руб.; $35 \cdot 10^4$ руб.
31	$10^{-5}; 10^{-45}; 10^{-7}$	$84 \cdot 10^5$ руб.; $62 \cdot 10^6$ руб.; $11 \cdot 10^4$ руб.
32	$10^{-7}; 10^{-8}; 10^{-3}$	$77 \cdot 10^5$ руб.; $91 \cdot 10^6$ руб.; $13 \cdot 10^4$ руб.
33	$10^{-6}; 10^{-7}; 10^{-9}$	$90 \cdot 10^5$ руб.; $82 \cdot 10^6$ руб.; $56 \cdot 10^4$ руб.
34	$10^{-8}; 10^{-9}; 10^{-7}$	$9 \cdot 10^5$ руб.; $70 \cdot 10^6$ руб.; $55 \cdot 10^4$ руб.
35	$10^{-5}; 10^{-6}; 10^{-8}$	$58 \cdot 10^5$ руб.; $99 \cdot 10^6$ руб.; $104 \cdot 10^4$ руб.
36	$10^{-2}; 10^{-5}; 10^{-6}$	$22 \cdot 10^5$ руб.; $60 \cdot 10^6$ руб.; $60 \cdot 10^4$ руб.
37	$10^{-2}; 10^{-7}; 10^{-6}$	$98 \cdot 10^5$ руб.; $65 \cdot 10^6$ руб.; $62 \cdot 10^4$ руб.
38	$10^{-6}; 10^{-5}; 10^{-7}$	$20 \cdot 10^5$ руб.; $18 \cdot 10^6$ руб.; $35 \cdot 10^4$ руб.
39	$10^{-7}; 10^{-6}; 10^{-8}$	$33 \cdot 10^6$ руб.; $60 \cdot 10^3$ руб.; $72 \cdot 10^4$ руб.
40	$10^{-7}; 10^{-4}; 10^{-8}$	$16 \cdot 10^6$ руб.; $67 \cdot 10^3$ руб.; $95 \cdot 10^4$ руб.
41	$10^{-7}; 10^{-5}; 10^{-4}$	$8 \cdot 10^6$ руб.; $60 \cdot 10^3$ руб.; $64 \cdot 10^4$ руб.
42	$10^{-5}; 10^{-4}; 10^{-7}$	$76 \cdot 10^6$ руб.; $98 \cdot 10^3$ руб.; $89 \cdot 10^4$ руб.
43	$10^{-6}; 10^{-7}; 10^{-8}$	$49 \cdot 10^6$ руб.; $70 \cdot 10^7$ руб.; $92 \cdot 10^6$ руб.
44	$10^{-8}; 10^{-7}; 10^{-6}$	$91 \cdot 10^6$ руб.; $87 \cdot 10^7$ руб.; $88 \cdot 10^6$ руб.
45	$10^{-2}; 10^{-6}; 10^{-7}$	$14 \cdot 10^6$ руб.; $47 \cdot 10^3$ руб.; $42 \cdot 10^4$ руб.
46	$10^{-4}; 10^{-7}; 10^{-8}$	$80 \cdot 10^6$ руб.; $25 \cdot 10^3$ руб.; $42 \cdot 10^4$ руб.
47	$10^{-5}; 10^{-6}; 10^{-7}$	$47 \cdot 10^6$ руб.; $83 \cdot 10^7$ руб.; $77 \cdot 10^6$ руб.
48	$10^{-7}; 10^{-4}; 10^{-5}$	$45 \cdot 10^8$ руб.; $78 \cdot 10^5$ руб.; $100 \cdot 10^2$ руб.
49	$10^{-3}; 10^{-4}; 10^{-8}$	$80 \cdot 10^6$ руб.; $97 \cdot 10^7$ руб.; $99 \cdot 10^6$ руб.
50	$10^{-3}; 10^{-45}; 10^{-7}$	$42 \cdot 10^6$ руб.; $56 \cdot 10^3$ руб.; $10 \cdot 10^4$ руб.

Вопросы итогового контроля

1. Проблема анализа надежности и техногенного риска систем типа человек – машина – среда.
2. Ущерб, причиняемый техногенными и природными катастрофами. Задачи, возникающие перед специалистами рассматриваемого направления.
3. Применение аппарата алгебры логики для анализа надежности и риска. Высказывания и события.
4. Применение аппарата алгебры логики для анализа надежности и риска. Законы алгебры логики. Карты Карно.
5. Множества в применении к анализу опасностей. Простейшие операции над подмножествами и их представление.
6. Оценка нечеткости. Примеры функций принадлежности.
7. Элементы теории вероятностей для исследования надежности и прогнозирования техногенного риска. Вероятность как математическое понятие. Сравнение двух подходов. Способы генерирования полной группы событий.
8. Система человек – машина – среда (СЧМС). Система управления опасностями. Определение СЧМС. Компоненты. Иерархия. Связь с проблемой безопасности.
9. Информационные системы. Функциональные системы управления опасностями.
10. Показатели надежности элементов. Единичные показатели надежности: показатели безотказности, долговечности, ремонтнопригодности.
11. Вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, средняя наработка до отказа; особенности их применения.
12. Основные понятия теории надежности объектов с восстановлением. Показатели безотказности, ремонтируемости, долговечности. Параметр потока отказов.
13. Комплексные показатели надежности: коэффициент готовности, коэффициент технического использования.
14. Статистическая оценка законов распределения в задачах надежности.
15. Оптимальное управление эксплуатационными процессами. Влияние обслуживания на надежность технической системы.

16. Статистическое моделирование и решение задач эксплуатации сложных систем. Сущность и обоснование метода статистического моделирования.
17. Общие понятия в связи с риском. Риск, связанный с техникой.
18. Индивидуальный риск, коллективный риск. Современные аспекты риска. Статистические данные по риску.
19. Риск и безопасность. Условие безопасности. Подход к анализу риска при наличии опасных факторов. Подход к анализу риска при наличии вредных факторов.
20. Теории и модели происхождения и развития несчастных случаев, аварий, катастроф. Современные теории и модели.
21. Методы качественного и количественного анализа надежности и риска. Методы качественного анализа надежности и риска СЧМС.
22. Основные дискретные и непрерывные распределения. Основные дискретные и непрерывные распределения и их применение к задачам определения надежности и риска СЧМС.
23. Сложные системы, их надежность и опасность. Основные типы структур сложных систем с точки зрения надежности и опасности. Особенности составления структурной схемы систем.
24. Резервирование, классификация. Подсистемы и логические операции ИЛИ, И. Оптимальные модели эксплуатации систем с резервированием. Алгоритм анализа более сложных систем.
25. Основы государственной и международной политики, комбинированная защита сложных технических систем.
26. Диаграмма Исикавы. Особенности построения.
27. Особенности применения методики «Дерево неисправностей».
28. Древовидная диаграмма. Преимущества и недостатки.
29. Методика «Галстук-бабочка».
30. Причинно-следственный анализ как один из видов анализа надежности технических систем.
31. Требования к надежности технических систем.
32. Классификация методов расчета надежности.
33. Категории идентификации опасности.
34. Основные виды распределения наработок изделий до отказа.

35. Деградация, процесс деградации. Источник процесса деградациии.
36. Методы эвристического прогнозирования.
37. Анализ видов и последствий отказов. Методика.
38. Анализ человеческого фактора.
39. Анализ методом марковского моделирования.
40. Анализ сети Петри.

Библиографический список

1. Малафеев С.И. Надежность технических систем [Электронный ресурс] : примеры и задачи : учеб. пособие / С.И. Малафеев, А.И. Копейкин. – СПб. : Лань, 2012. – 320 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература).
2. Надежность технических систем и техногенный риск [Электронный ресурс] : учеб. пособие / сост. С.А. Сазонова [и др.]. – Воронеж : Воронеж. ГАСУ : ЭБС АСВ, 2013. – 147 с.
3. Малкин В.С. Надежность технических систем и техногенный риск : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по направлению 280100 «Безопасность жизнедеятельности» / В.С. Малкин. – М. : Феникс, 2010. – 433 с. – (Высшее образование).
4. Кравцова М.В. Надежность технических систем и техногенный риск : учеб.-метод. пособие по выполнению курс. работы / М.В. Кравцова. – Тольятти : ТГУ, 2011. – 50 с.
5. Царев А.М. Надежность технических систем. Техногенный риск : курс лекций / А.М. Царев. – Тольятти : ТВТИ, 2008. – 296 с.
6. Синопальников В.А. Надежность и диагностика технологических систем : учеб. для вузов / В.А. Синопальников, С.Н. Григорьев. – М. : Высш. шк., 2005. – 343 с.
7. ГОСТ Р МЭК 62508-2014. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Анализ влияния на надежность человеческого фактора [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru>.
8. ГОСТ Р 27.606-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru>.
9. ГОСТ Р 27.003-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Управление надежностью.
10. Руководство по заданию технических требований к надежности [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru>.
11. ГОСТ Р 27.301-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Управление надежностью. Техника анализа безотказности. Основные положения [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru>.

12. ГОСТ Р 51901.5-2005. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru>.

Варианты заданий для выполнения практических работ

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
<i>Специализация «Безопасность технологических процессов и производств в машиностроении»</i>		
1	Процесс обтяжки на обтяжных и растяжно-обтяжных прессах с ЧПУ	Обтяжные прессы, клещи, молотки, зубила
2	Процесс раскроя листов и профилей на ножницах и пилах	Пресс-ножницы с электроприводом, клещи, молотки
3	Штамповка на горизонтально-ковочных машинах	Горизонтально-ковочные машины, клещи, молотки, выколотки
4	Процессковки и штамповки на молотах	Мерительный инструмент, шаблоны, штампы, бойки, клещи, молотки
5	Процесс штамповки на высокоскоростных молотах	Высокоскоростной молот для штамповки, клещи, молотки, выколотки, ковочные и штамповочные молоты
6	Процесс штамповки на кривошипных горячештамповочных и винтовых прессах	Кривошипные горячештамповочные, винтовые прессы, клещи, молотки, кувалды
7	Процесс штамповки на гидравлических прессах	Гидравлический пресс, клещи, молотки, выколотки
8	Процесс электрогидроимпульсной штамповки	Клещи, молотки, кувалды, зубила, выколотки
9	Процесс листовой штамповки на механических и гидравлических прессах	Механический, гидравлический пресс с электроприводом
10	Штамповка с нагревом на установках радиационного типа с электрическим источником излучения	Горячештамповочные прессы, клещи, молотки, выколотки, кувалды, установки электроконтактного нагрева
11	Процесс получения, транспортирования, использования расплавов черных металлов и сплавов на основе этих металлов	Сталевозная тележка, конвейеры, конверторы, доменные печи, чугуновозные и шлаковозные ковши, вагоны-весы, подъемники
12	Литейные работы	Дуговые электропечи, доменные печи, вакуумная камера, плазменные печи, электронно-лучевые печи

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
13	Слесарные механосборочные работы	Механизмы, станки, кузова, слесарный инструмент, компенсаторы, контроллеры, валы, клапаны, корпуса
14	Электросварочные работы	Электросварочное оборудование, сварочный трансформатор
15	Газосварочные работы	Газосварочное оборудование, сварочный трансформатор, газовые баллоны
16	Токарные работы по металлу (холодная обработка металла)	Токарные станки, слесарный инструмент, станки с ЧПУ
17	Фрезерные работы по металлу (холодная обработка металла)	Фрезерные станки, слесарный инструмент
18	Сверлильные работы по металлу (холодная обработка металла)	Сверлильные станки, слесарный инструмент
19	Работа на точильных станках (холодная обработка металла)	Точильные станки, слесарный инструмент
20	Термическая обработка металлов	Установки плазменные, электронно-лучевые установки, оборудование для механической очистки деталей, лазерные установки
21	Сборка кузовов	Механизмы, станки, кузова, слесарный инструмент, компенсаторы, контроллеры, валы, клапаны, корпуса
22	Окрасочные работы	Краскопульт, окрасочная камера
23	Обработка металла резанием	Металлорежущее оборудование
24	Погрузо-разгрузочные работы	Грузоподъемные машины и механизмы, лебедка
25	Ремонтные работы	Слесарные инструменты, электрооборудование
<i>Специализация «Безопасность технологических процессов и производств в строительстве и производстве строительных материалов»</i>		
1	Производство земляных работ	Трапы, маршевые лестницы, экскаваторы, автомобили-самосвалы
2	Устройство искусственных оснований и буровые работы	Сваебойные и буровые машины, автомобили-самосвалы, канаты, буровой инструмент
3	Бетонные работы	Автомобили-самосвалы, бетоновозы, бетононасос, бетономеситель, виброплита

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
4	Монтажные работы	Монтажные краны, башенные краны, кондукторы
5	Каменные работы	Автомобили-самосвалы, растворозовозы, монтажные краны, установка для подачи раствора
6	Отделочные работы	Стремянки, лестницы, растворонасосы, растворозовозы, установка для подачи раствора, краскопульты
7	Электромонтажные и наладочные работы	Трансформаторы, электроприводы, аккумуляторные батареи
8	Электросварочные и газопламенные работы	Электрогазосварочное оборудование, сварочный трансформатор, газовые баллоны
9	Кровельные работы	Кровельные станки, кровельная горелка, раскатчик, газосварочное оборудование
10	Транспортные и погрузо-разгрузочные работы	Автомобили, грузоподъемные машины, подъемно-транспортное оборудование, платформы, трапы
11	Строповка грузов	Грузоподъемные машины и механизмы, подмости, строповочные канаты, узлы, монтажные приспособления
12	Производство работ с применением грузоподъемных машин	Грузоподъемные машины и механизмы, стропы
13	Складирование изделий, материалов, конструкций и оборудования	Грузоподъемные машины и механизмы, стропы, лебедка
14	Такелажные работы	Грузоподъемные машины и механизмы, стропы, специальные суда, лодки, плоты
15	Лесосечные работы	Моторные пилы, рычаги (аншпуги), ворота, захваты, тракторы, канатные установки, лебедка
16	Лесотранспортные работы	Автомобили, прицепы, роспуски, полуприцепы, вагоны-цепы, канатные установки, конвейеры, стропы
17	Лесоскладские работы	Канатные установки, лебедки, многопильные установки

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
18	Процесс деревообработки	Сборные конвейеры для коры, грузоподъемные механизмы, лесопильное оборудование, пропиточные ванны, сушилки, автопогрузчики
19	Грунтовка асбестоцементных и асбестосиликатных изделий	Асбестоцементные плиты, шпаклевочные машины, асбестосиликатные листы, электрооборудование
20	Строительство подземных сооружений	Грузоподъемные машины и механизмы, электрооборудование, экскаваторы, лебедки
21	Процесс резки стекла	Листовое стекло, механизированные станки, стеклорезы
22	Столярно-плотницкие работы	Слесарный инструмент, плотницкий инструмент (топор, молоток, гвоздодер и т. п.), уровень, отвес
23	Кровельные работы	Кровельный ручной инструмент, электровырубные ножницы, полуавтоматические кровельные инструменты, газовая горелка, промышленный пылесос
24	Облицовка плиткой	Мастерок, молоток плиточный, плиткорез, шпатель, малярная кисть, стеклорез
25	Слесарные работы	Стамески, ножовки, рубанки, труборезы, напильники, резьбонарезной инструмент, щетки, металлорежущий инструмент
<i>Специализация «Безопасность технологических процессов и производств в энергетике и энергоснабжении»</i>		
1	Установка силового трансформатора	Силовой трансформатор, грузоподъемные краны и другие строительные машины, электроустановки
2	Монтаж электропроводов и молниезащитных тросов	Грузоподъемные краны и другие строительные машины, электропровода, молниезащитные тросы, электроустановки, заземлители
3	Наладка электрооборудования мостовых кранов	Грузоподъемное оборудование, электроустановки, генераторы, преобразователи

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
4	Процесс натяжения проводов на линиях электропередач	Грузоподъемное оборудование, электроустановки, генераторы, преобразователи, заземлители
5	Испытание изоляции электрооборудования повышенным напряжением	Электрооборудование, генераторы, преобразователи, заземлители, распределительные устройства
6	Испытание трансформаторов	Трансформаторы, генераторы, преобразователи, заземлители
7	Наладка электроприводов	Электроустановки, коммутационные аппараты, кабели, шина распределительного устройства, генераторы, преобразователи
8	Наладочные работы на воздушных линиях электропередачи	Грузоподъемные машины и механизмы, электроустановки, генераторы, преобразователи
9	Присоединение вновь смонтированных электроустановок к действующим	Электроустановки, генераторы, преобразователи, заземлители, грузоподъемные механизмы
10	Наладка распределительных устройств	Распределительные устройства, электрооборудование, генераторы, преобразователи
11	Электромонтаж диспетчерского оборудования и телеавтоматики	Диспетчерское оборудование, аппаратура телеавтоматики, вольтметр, электрогазосварочное оборудование, кабели, шнуры, штепсели, кнопки, микрофонные трубки
12	Эксплуатация сетей газораспределения и газопотребления газотурбинных и парогазовых установок	Сети газораспределения, газотурбинные, паротурбинные установки, диагностическое оборудование
13	Эксплуатация сетей газораспределения и газопотребления тепловых электрических станций	Сети газораспределения, тепловые электрические станции, диагностическое оборудование
14	Присоединение (врезка) вновь построенных наружных и внутренних газопроводов к действующим, отключение (обрезка) газопроводов (газоопасные работы)	Газопроводы, электрогазосварочное оборудование, газовые баллоны, электрооборудование, диагностическое оборудование, слесарно-монтажный инструмент

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
15	Продувка газопроводов при отключении или включении газоиспользующих установок в работу (газоопасные работы)	Газопроводы, электрооборудование, насосное оборудование, диагностическое оборудование, слесарно-монтажный инструмент
16	Эксплуатация и техническое обслуживание ветроэлектроустановок	Пульты управления с ЧПУ, электродвигатели, слесарный инструмент, диагностический инструмент, контрольно-измерительные приборы
17	Осуществление оперативного управления ветроэлектроустановками	Пульты управления с ЧПУ, электродвигатели, диагностическое оборудование
18	Эксплуатация гидротехнических сооружений	Дренажные системы, насосное оборудование, фильтры, напорные водоводы, сороудерживающие конструкции, специализированное механизированное оборудование
19	Техническое обслуживание гидротехнических сооружений	Дренажные системы, насосное оборудование, фильтры, напорные водоводы, сороудерживающие конструкции, специализированное механизированное оборудование
20	Техническое обслуживание и ремонт электрооборудования грузоподъемных кранов	Слесарно-монтажный инструмент, подъемники, электрооборудование, диагностический инструмент, разъединители, рубильники
21	Производство работ на кабельных линиях	Инструменты для монтажа кабельных сетей, слесарно-монтажный инструмент, диагностический инструмент
22	Обслуживание централизованных стрелок, рельсовых цепей, светофоров и релейных шкафов	Оборудование по наладке централизованных стрелок, рельсовых цепей, светофоров и релейных шкафов, диагностическое оборудование, индикаторы
23	Обслуживание лифтов	Лифтовое и подъемное оборудование, диагностические инструменты, набор инструментов по монтажу, демонтажу, настройке и наладке лифтового оборудования

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
24	Техническое обслуживание средств автоматического контроля технического состояния подвижного состава на ходу поезда	Электрооборудование, устройства блокировки, индикаторы тока, кабель
25	Обслуживание устройств магистральной и дорожной радиосвязи	Электрооборудование, устройства блокировки, индикаторы тока, кабель, антенно-фидерные устройства, разъединители, рубильники
<i>Специализация «Безопасность технологических процессов и производств в автотранспортном комплексе»</i>		
1	Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств	Станок для расточки седла клапана (ремонт двигателей), плоскошлифовальные станки, установки для опрессовки систем охлаждения, стенд для разборки/сборки блока цилиндров, станок для шлифовки клапанов, вакуумный тестер, слесарно-монтажный инструмент, сварочные аппараты, автомобильные подъемники, домкраты, компрессоры
2	Проверка технического состояния автотранспортных средств	Домкраты, автомобильные подъемники, набор ключей, набор слесарно-монтажных инструментов, электрооборудование, диагностическое оборудование, шиномонтажное оборудование
3	Техническое обслуживание, ремонт и проверка технического состояния автомобилей, работающих на газовом топливе	Автомобильные подъемники, набор ключей, набор слесарно-монтажных инструментов, электрооборудование, диагностическое оборудование, шиномонтажное оборудование, домкраты, сварочные аппараты, компрессоры
4	Мойка автотранспортных средств	Аппараты для мойки высокого давления, стационарные мойки, пенокомплекты, пылесосы, очиститель стекол, автономный мини-душ, парогенераторы
5	Слесарные и смазочные работы	Слесарно-монтажный инструмент, домкраты, автомобильные подъемники, набор ключей

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
6	Проверка технического состояния автотранспортных средств и их агрегатов	Домкраты, автомобильные подъемники, набор ключей, набор слесарно-монтажных инструментов, электрооборудование, диагностическое оборудование, шиномонтажное оборудование
7	Окрасочные и противокоррозионные работы	Краскопульт, толщиномер лакокрасочного покрытия, индикатор толщины немагнитных покрытий, абразив, полировальная шлифмашина, покрасочные камеры
8	Вулканизационные и шиномонтажные работы	Вулканизаторы для шиномонтажа, слесарно-монтажный инструмент, домкрат, станки для шероховки, оборудование для подачи сжатого воздуха
9	Шиномонтажные работы	Автомобильные подъемники, домкрат, слесарно-монтажный инструмент, оборудование для подачи сжатого воздуха
10	Кузовные работы	Сварочные аппараты, слесарно-монтажный инструмент, споттеры, прессы, стапели для восстановления геометрии кузова, механический, пневматический инструменты, автомобильные подъемники, домкраты, измерительные системы
11	Мойка автотранспортных средств	Аппараты для мойки высокого давления, стационарные мойки, пенокомплекты, пылесосы, очиститель стекол, автономный мини-душ, парогенераторы
12	Слесарные работы по контрольно-измерительным приборам и автоматике	Электрический паяльник, ручной инструмент, спирт, масла минеральные нефтяные, свинец
13	Сверловка деталей	Сверлильный станок
14	Слесарно-ремонтные работы	Наждак, станок отрезной, станок трубогибочный, пресс-ножницы, станок сверлильно-радиальный, листогибочная машина

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
15	Работа оператора станков с программным управлением	Токарные станки с ЧПУ: многоцелевой специальный станок, обрабатывающий центр Kitamura-Fanuc
16	Работа газорезчика	Газорезка, баллоны с углекислотой, ручной инструмент
17	Работы слесаря КИПиА (контрольно-измерительных приборов и автоматики)	ПЭВМ, электроинструмент, электрический паяльник, ручной инструмент, фильтр (сосуды под давлением), трубопровод, измерительные приборы
18	Механосборочные работы	Дрель, болгарка, заточной станок, вертикально-сверлильный станок, ручной инструмент
19	Кузнечная работа на молотах и прессах	Пневматический молот, пресс-штамп, печь, слесарно-кузнечный инструмент
20	Электрогазосварочные работы (резка и ручная сварка)	Сварочный аппарат постоянного/переменного тока, баллоны, газорезка, ручной инструмент
21	Плотницкие работы	Сверлильный станок, заточной станок, циркулярная пила, рейсмусовый станок, фрезерный станок, ручной инструмент, дрель
22	Работа аккумуляторщика	Аквадистиллятор, установка зарядная «Заряд»
23	Фрезерные работы	Универсальный фрезерный станок, строгальный станок, долбежный станок
24	Ремонтные работы (ремонт карбюратора)	Стенд для сборки и разборки V-образных карбюраторных двигателей грузовых автомобилей, пресс гидравлический, установка компрессорная, паяльная лампа, ручной инструмент
25	Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования	Электрическая дрель, шуруповерт, ручной инструмент, пневматический пресс ручной
<i>Специализация «Безопасность технологических процессов и производств в нефтегазовом комплексе»</i>		
1	Производство нефтяного кокса – замедленное коксование	Трубопровод, печь, пикнометры, термостат, баня песчаная или водяная, шкаф сушильный, устройства загрузочные

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
2	Производство нефтяного битума	Реакторное оборудование, автоматизированная система дозирования, смесители, коллоидная мельница, насосная станция, битумный котел, трубопровод
3	Процесс смешения бензинов с этиловой жидкостью	Станция смешения бензинов, трубопроводы, насосная станция, смесители
4	Производство метил-трет-бутилового эфира	Реакторное оборудование, насосное оборудование, трубопроводы, холодильное оборудование, электроустановки
5	Селективная очистка масляных дистиллятов	Установка очистки, насосное оборудование, трубопроводы, экстрактные аппараты, тарельчатые массообменные аппараты, теплообменное оборудование
6	Слив и налив нефтепродуктов	Насосное оборудование, компрессоры, трубопроводы, оборудование для налива нефтепродуктов в цистерны, станции тактового налива, эстакады для железнодорожного и автомобильного транспорта
7	Буровые работы	Буровые установки, породоразрушающий инструмент, кернорватели, желонки, колонковые соединения и трубы, шнеки, бурильные трубы, обсадные трубы, стягивающие хомуты, лебедка, пневмоинструменты
8	Освоение и испытание скважин	Компрессоры, насосное оборудование, трубопроводы, нагнетатели, колонковые соединения и трубы, лебедка
9	Эксплуатация установок и оборудования для сбора и подготовки нефти, газа и конденсата	Агрегаты, насосы, электрические датчики систем контроля, манометры, трубопроводы, компрессоры, газопроводы
10	Эксплуатация насосного и компрессорного оборудования	Насосное и компрессорное оборудование, трубопроводы, диагностическое оборудование
11	Ремонтные работы на автозаправочных станциях	Насосное и компрессорное оборудование, трубопроводы, диагностическое оборудование, контрольно-измерительные приборы

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
12	Ремонт и зачистка резервуаров от остатков нефтепродуктов	Резервуары, насосное оборудование, трубопроводы, инструмент, применяемый для удаления осадков (совки, скребки, ведра)
13	Ремонт насосного оборудования и технологических трубопроводов для нефтепродуктов	Резервуары, насосное оборудование, трубопроводы, инструмент, диагностическое оборудование, контрольно-измерительные приборы
14	Пусконаладочные работы и ввод в эксплуатацию автозаправочных станций	Насосное оборудование, трубопроводы, механизированный инструмент, диагностическое оборудование, контрольно-измерительные приборы
15	Обслуживание и ремонт компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов	Компрессорные установки, газопроводы, воздухопроводы, диагностическое оборудование, контрольно-измерительные приборы, фильтры
16	Строительство, реконструкция, техническое перевооружение и капитальный ремонт опасных производственных объектов магистральных трубопроводов	Лебедка, пневмоинструменты, резервуары, насосное и компрессорное оборудование, диагностическое оборудование
17	Консервация и ликвидация опасных производственных объектов магистральных трубопроводов	Лебедка, пневмоинструменты, резервуары, насосное и компрессорное оборудование, диагностическое оборудование
18	Обслуживание наливных станций	Насосное и компрессорное оборудование, трубопроводы, диагностическое оборудование
19	Работы с нефтепродуктами (хранение, использование бензинов, дизельного топлива, этилированного бензина и т. д.)	Насосное и компрессорное оборудование, трубопроводы, диагностическое оборудование
20	Прием и отпуск нефтепродуктов	Насосное и компрессорное оборудование, трубопроводы, диагностическое оборудование, контрольно-измерительные приборы
21	Обслуживание насосных установок нефти и нефтепродуктов	Насосное и компрессорное оборудование, трубопроводы, диагностическое оборудование

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
22	Бурение скважин и установка подземного оборудования при строительстве опасных производственных объектов подземных хранилищ газа	Буровые установки, породоразрушающий инструмент, кернорватели, желонки, колонковые соединения и трубы, шнеки, бурильные трубы, обсадные трубы, стягивающие хомуты, лебедка, пневмоинструменты
23	Установка подземного оборудования при строительстве объектов подземных хранилищ газа	Буровые установки, породоразрушающий инструмент, лебедка, пневмоинструменты, резервуары, насосное и компрессорное оборудование
24	Обслуживание станций нефти и нефтепродуктов	Насосное и компрессорное оборудование, трубопроводы, диагностическое оборудование
25	Хранение нефтепродуктов	Резервуары, насосное оборудование, компрессорное оборудование, диагностическое оборудование

Образец оформления титульного листа заданий

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения
Кафедра «Управление промышленной и экологической
безопасностью»

Практическое задание № __
по учебному курсу «Надежность технических систем
и техногенный риск»

Вариант ____ (*при наличии*)

Студент _____
(И.О. Фамилия)

Группа _____

Преподаватель _____
(И.О. Фамилия)

Тольятти 20__