ВОЕННО-КОСМИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ А.Ф. МОЖАЙСКОГО
Кафедра информационно-вычислительных систем и сетей

УТВЕРЖДАЮ
Начальник 24 кафедры
полковник
А. Басыров
«____» _____ 20 года

Автор: преподаватель 24 кафедры,
кандидат технических наук, доцент В. Тимофеев

Тема 3. Испытания и контроль надёжности АС

Практическое занятие

Определение характеристик надежности системы

по дисциплине

Надежность автоматизированных систем

Обсуждено и одобрено на заседании 24 кафедры
« ___» ____________ 20____ года протокол № ___

Санкт - Петербург

20__

Цель занятия: закрепление курсантами теоретических знаний метода статистического моделирования на ЭВМ и привитие навыков по обработке статистических данных об отказах систем при ограниченном числе испытаний.

СОДЕРЖАНИЕ ЗАНЯТИЯ И ВРЕМЯ

Введение	5 мин.
1. Разбор типового примера	40 мин.
2. Выполнение индивидуального задания	135 мин.
3. Подготовка отчета	45 мин.
4. Защита отчета о выполненной работе	40 мин.
Заключение	5 мин.

1. Типовой пример

1.1. Программа анализа надежности сложных систем

Программа моделирует на ЭВМ функционирование системы, состоящей из m основных элементов, причем к каждому основному элементу может быть подключено n – 1 резервных.

Резервные элементы могут находиться как в нагруженном, так ненагруженном состояниях. Основные элементы системы так же, как и резервные, могут восстанавливаться. Таким образом, моделируются следующие структуры узлов системы:

- без резерва;
- ненагруженное резервирование без восстановления;
- ненагруженное резервирование с восстановлением;
- нагруженное резервирование без восстановления;
- нагруженное резервирование с восстановлением.

Для получения времени исправной работы элементов и переключателя, а также времени восстановления элементов могут использоваться семь различных законов распределения. Максимальное число групп исследуемой системы равно 4 (m = 4). Максимальное число элементов в группе равно 5 (n = 5). Моделирование функционирования системы происходит следующим образом:

1) производится заданное число испытаний N;

2) в результате каждого i-го испытания определяется время безотказной работы системы T_i как минимальное из времен безотказной работы всех групп $T_i = \min(T_{i_1}, T_{i_2}, \ldots, T_{i_m})$;

3) по результатам N испытаний определяются:

– среднее время исправной работы $T_{ср}$;
– минимальное время исправной работы T_{min};
– максимальное время исправной работы T_{max};
– значения плотности распределения времени до отказа (частота отказов) $f_1, f_2, \ldots, f_k$ для моментов времени T_{min} + (i – 0,5)ΔT, где $\Delta T = \frac{T_{max} - T_{min}}{k}$, ($k \leq$ 30);
– значение вероятности исправной работы системы $P_1, P_2, \ldots, P_k$ для интервалов времени [0, T_{min}+ $i\Delta T$];
– количество отказов на каждом из k интервалов.

1.2. Информация для моделирования

Исходными данными для работы программы являются:
– число испытаний N;
– число групп в системе m;
– число интервалов k.

Каждая группа элементов характеризуется:
– числом элементов в группе n (основного и резервных);
– способом резервирования основного элемента;
– законом распределения времени безотказной работы переключателя;
– законами распределения времени безотказной работы элементов;
– законами распределения времени восстановления элементов;
– вероятностью обнаружения отказа работающего элемента переключателем R.

В случае идеального переключателя R = 1, а поле закона распределения времени безотказной работы переключателя не заполняется.

Таблица 1. Законы и порядок вычисления случайных чисел

Номер закона	Название	Параметры 1	Параметры 2	Формула для вычислений случайного числа
1	Нормальный	a	σ	$t_i = a + \sigma\gamma_i$
2	Экспоненциальный	λ	—	$t_i = -\frac{1}{\lambda}\ln\xi_i$
3	Релея	M	—	$t_i = M\sqrt{-2\ln\xi_i}$
4	Вейбулла	T	k	$t_i = \sqrt[k]{-T\ln\xi_i}$
5	Равномерный	a	b	$t_i = a + (b-a)\ln\xi_i$
6	Эрланга	β	k	$t_i = -\frac{1}{\beta}\ln(\xi_1, \xi_2, ..., \xi_k)$
7	Логарифмически нормальный	T	σ	$t_i = \exp\left(\frac{\sigma\gamma_i + 1/T}{\lg e}\right)$

1.3. Пример подготовки исходной информации для анализа надежности системы

Пусть система состоит из трех групп элементов (m = 3). Основной элемент первой группы резервных не имеет. Закон распределения времени его исправной работы

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}01 \text{ [1/час]}.$$

Переключающее устройство идеальное.

Основной элемент второй группы зарезервирован тремя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Переключающее устройство идеальное. Время исправной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 10 \text{ [час]}.$$

Основной элемент третьей группы зарезервирован одним элементом, находящимся в ненагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время исправной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону распределения

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}04 \text{ [1/час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено закону Релея

$$g(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 10 \text{ [час]}.$$

Отказ работающего элемента обнаруживается переключателем с R = 0,97. Время исправной работы переключающего устройства подчинено нормальному закону распределения

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 100 \text{ [час]}; \sigma = 100 \text{ [час]}.$$

Разобьем систему на группы элементов (рис. 1) и подготовим исходную информацию, характеризующую каждую группу:

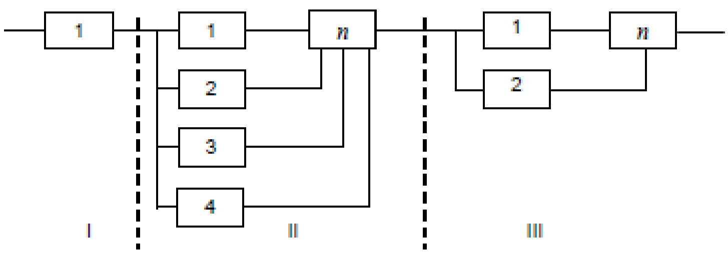

Рис. 1. Надежностная структурная схема системы

Порядок ввода исходных данных для примера показан на рис. 2 – рис. 5. На рис. 6 отображен результат моделирования.

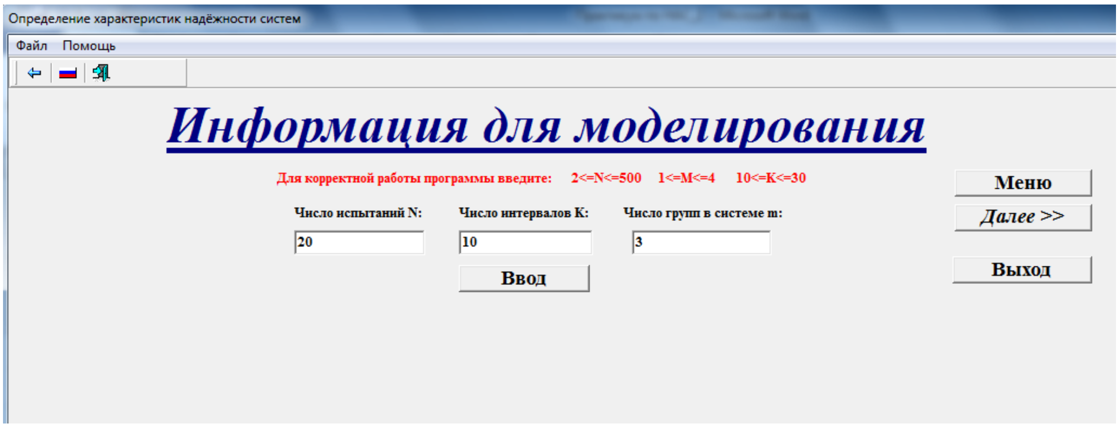

Рис. 2. Ввод общей информации

После занесения информации в соответствующие поля нажать кл. «Ввод». Появится окно для выбора групп (рис. 3), в котором активирована вкладка «1-я группа».

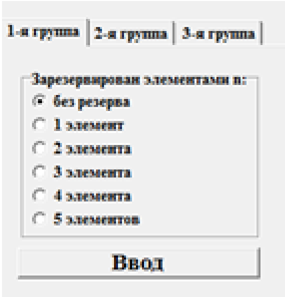

Рис. 3. Ввод числа резервных элементов для первой группы

В поле «Зарезервирован элементами n:» необходимо выбрать необходимое число резервных элементов согласно надежностной структурной схеме системы на рис. 1. Поскольку в первой группе у основного элемента резервных нет, то выбирается «без резерва», после чего нажать кл. «Ввод». Появится окно для ввода вида и параметров закона распределения времени безотказной работы для переключателя, основного и резервных элементов (рис. 4).

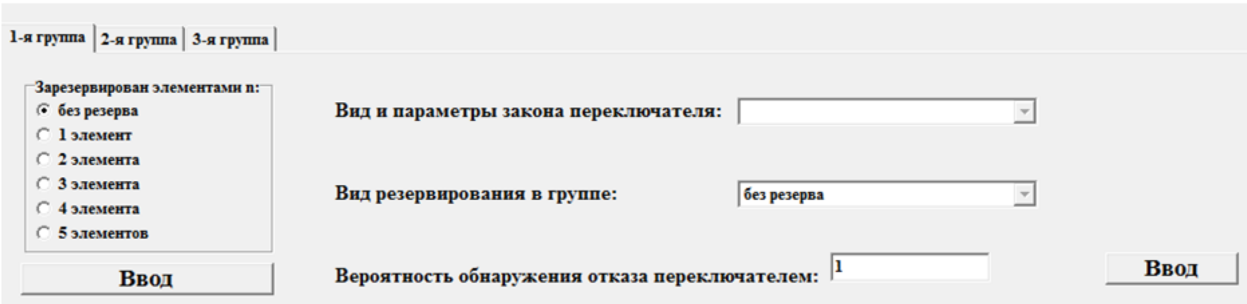

Рис. 4. Ввод вида и параметров закона распределения времени безотказной работы для переключателя, основного и резервных элементов

Поскольку в первой группе переключателя нет, то в поле «Вид и параметры закона переключателя:» ничего не заносится. Поскольку в первой группе у основного элемента резервных нет, то в поле «Вид резервирования в группе:» выбирается «без резерва». В поле «Вероятность обнаружения отказа переключателем:» указывается 1, так как отсутствие переключателя аналогично идеальному переключателю. После заполнения полей нажать кл. «Ввод» в правой части окна. В окне добавится поля для внесения данных о виде и параметрах закона элементов (рис. 5).

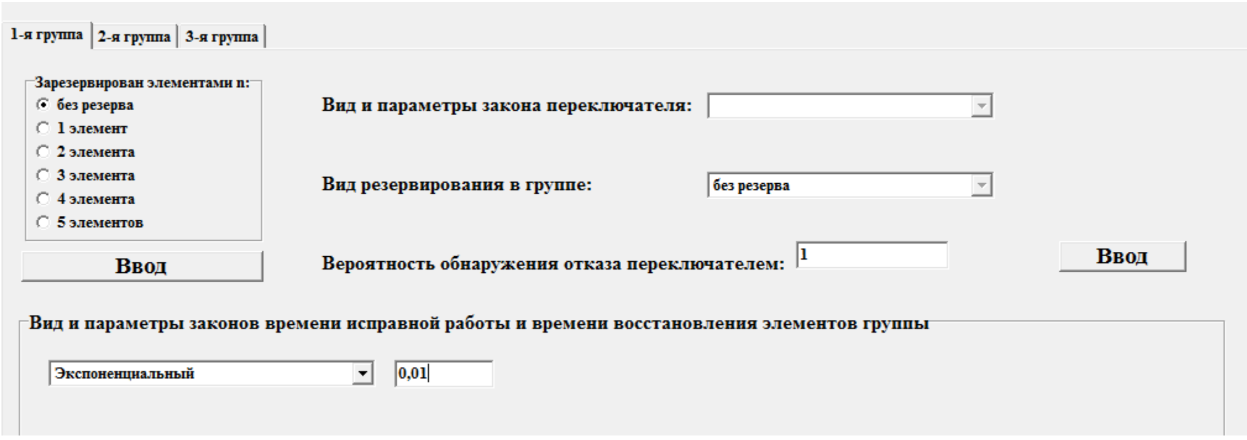

Рис. 5. Ввод вида и параметров законов времени безотказной работы и времени восстановления элементов системы

Поскольку в первой группе только основной элемент, который не подлежит восстановлению, то в окне появится только одно поле, в котором надо выбрать экспоненциальный закон, и в появившемся справа поле задать значение параметра 0,01. Затем в окне выбрать вкладку «2-я группа» и по аналогии с первой группой внести информацию для второй группы (рис. 6).

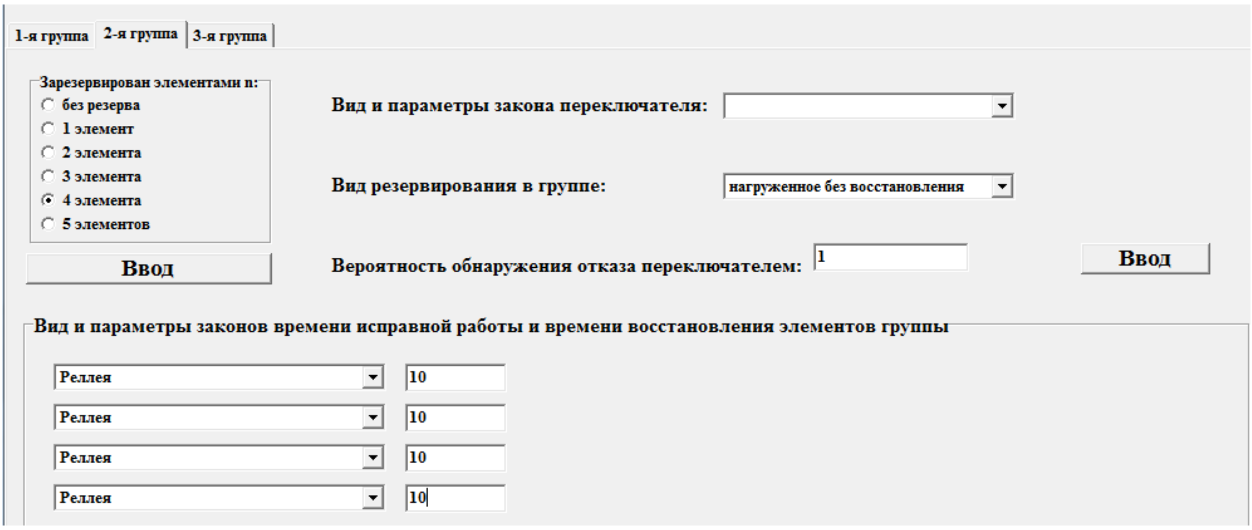

Рис. 6. Ввод данных для второй группы элементов

То же выполнить и для третей группы элементов (рис. 7).

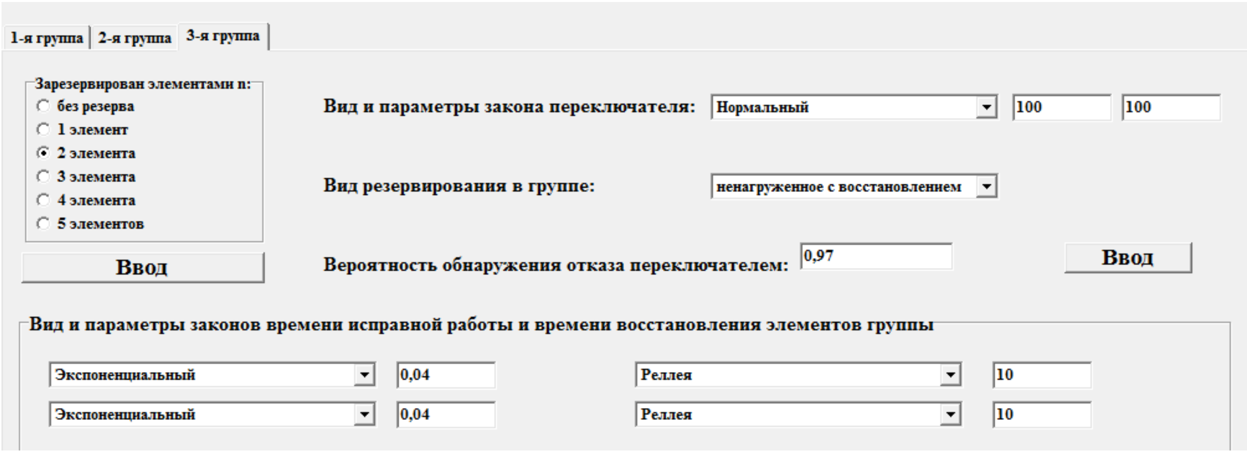

Рис. 7. Ввод данных для третей группы элементов

После ввода данных для всех групп элементов в окне нажать кл. «*Далее* >>». Появится окно с результатами моделирования испытаний и рассчитанными значениями показателей надежности системы (рис. 8).

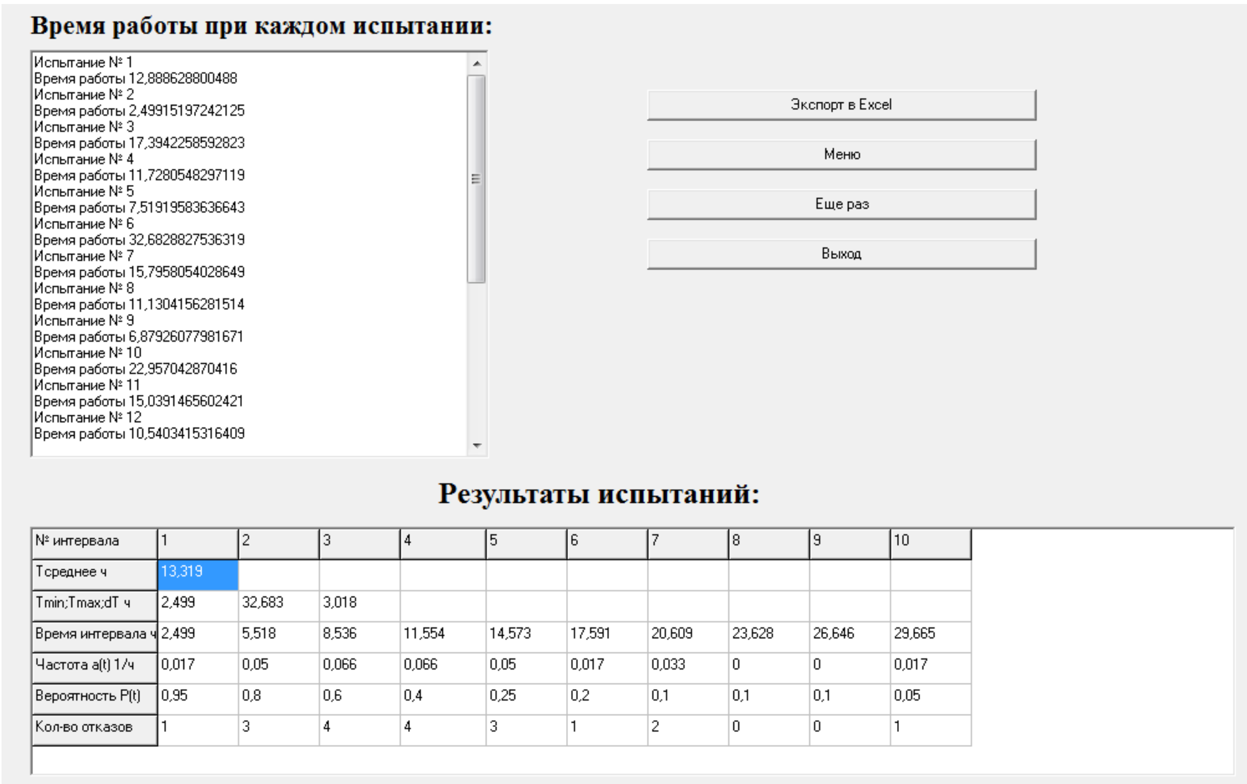

Рис. 8. Результаты моделирования испытаний

2. Порядок выполнения индивидуального задания

По аналогии с типовым примером, рассмотренным в п. 1, для системы, описанной в индивидуальном задании, с помощью программы осуществить моделирование ее работы. По полученным результатам моделирования необходимо:

– построить графики вероятности безотказной работы и плотности распределения времени до отказа;

– определить доверительные границы среднего времени безотказной работы при заданной преподавателем доверительной вероятности;

– подобрать теоретический закон распределения времени безотказной работы системы, рассчитать его параметры и построить на одном графике кривые теоретического и экспериментального значений $P(t)$;

– проверить согласие теоретического и экспериментального распределений вероятностей безотказной работы и сделать выводы об их соответствии;

– сделать выводы о надежности системы и ее отдельных элементов.

2.1. Оценка точности результатов моделирования

В результате моделирования на основе полученного статистического материала дается количественное описание исследуемых случайных величин. При этом вследствие ограниченного числа испытаний вместо точных значений показателей получаем их приближенные значения, называемые *оценками*. Возникает задача определения достоверности полученных характеристик. Определение достоверности производится с помощью вероятности того, что допущенная ошибка не превзойдет некоторой заданной величины или вероятности того, что неизвестное значение математического ожидания времени исправной работы T будет заключаться в пределах $T_{\text{ср}} - \varepsilon_1$, $T_{\text{ср}} + \varepsilon_2$. Запишем это в виде

$$P(T_{\text{ср}} - \varepsilon_1 \leq T \leq T_{\text{ср}} + \varepsilon_2) = \beta,$$

где $T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} T_i}{N}$;

N – число опытов;

T_i – время безотказной работы системы в i-м опыте.

Вероятность β называют *доверительной вероятностью*, интервал $[T_{\text{ср}} - \varepsilon_1, T_{\text{ср}} + \varepsilon_2]$ – *доверительным интервалом*. Границы доверительно интервала $T_{\text{ср}} - \varepsilon_1$, $T_{\text{ср}} + \varepsilon_2$ называются *доверительными границами*. Доверительный интервал характеризует точность полученного результата, а доверительная вероятность – его достоверность.

При реализации метода моделирования на ЭВМ число испытаний обычно бывает достаточно большим (от нескольких сотен до десятков тысяч). Это позволяет сделать вывод о нормальном законе распределения оценок математического ожидания, дисперсии вероятности события, что существенно упрощает анализ точности результатов моделирования.

При нормальном законе распределения доверительный интервал симметричен, т.е.

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$$

Для оценки относительной погрешности при вычислении дисперсии случайной величины X используется выражение

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{2}\, t_\beta}{\sqrt{N-1}}\,. \qquad (1)$$

Таблица 2. Значения t_β при различной доверительной вероятности β

β	t_β	β	t_β	β	t_β	β	t_β
0,80	1,282	0,86	1,475	0,91	1,694	0,97	2,169
0,81	1,310	0,87	1,513	0,92	1,750	0,98	2,325
0,82	1,340	0,88	1,554	0,93	1,810	0,99	2,576
0,83	1,371	0,89	1,880	0,94	1,880	0,9973	3,000
0,84	1,404	0,90	1,643	0,95	1,960	0,999	3,290
0,85	1,439			0,96	2,053		

Из этого выражения при заданном значении t_β нетрудно определить число реализаций N, обеспечивающее требуемую относительную погрешность.

2.2. Согласие теоретического и экспериментального распределений

Проверка гипотезы о согласованности статистического и теоретического распределений проще всего осуществляется с помощью критерия согласия академика А.Н. Колмогорова. Для этого строятся экспериментальная (эмпирическая) функция распределения $F^*(\check{Y})$ и теоретическая функция $F(\check{Y})$ и определяется максимальная разность:

$$d = \max_{y} |\, F(\check{Y}) - F^*(\check{Y})|,$$

которая является максимальным абсолютным значением разности эмпирической и теоретической функции распределения.

Затем определяется величина (мера) q по формуле

$$q = d\sqrt{N},$$

где N – число реализаций (опытов).

Для проверки гипотезы о правильности выбора функции распределения $F(t)$ времени наступления отказа задаются уровни значимости α и находят квантиль распределения Колмогорова Z_{1-a}. Если в результате сравнения окажется, что мера $q < Z_{1-a}$, то делается заключение, что нет основания отвергать гипотезу о виде функции распределения. В противном случае принятая гипотеза отвергается, и вся последовательность обработки информации повторяется, начиная с уточнения гипотезы о виде функции распределения.

Квантили распределения Колмогорова

α	$Z_{1-\alpha}$
0,01	1,63
0,025	1,48
0,05	1,36
0,10	1,22
0,15	1,14
0,20	1,07
0,25	1,02
0,30	0,97
0,35	0,93
0,40	0,89

Таким образом, проверка гипотезы по критерию Колмогорова состоит из следующих этапов:

1. Построение эмпирической функции распределения.

2. Выдвижение гипотезы о виде функции распределения и оценивание параметров этого распределения.

3. Вычисление значений теоретической функции распределения в точках t_i, которые соответствуют скачкам эмпирической функции распределения.

4. Вычисление в каждой из точек t_i, абсолютного значения разности

$$d = | F(t_i) – F^*(t_i) |, \tag{2}$$

5. Выбор максимального значения разности d_{max} и определение величины (меры)

$$q = d_{max}\sqrt{N}, \qquad d = \max_{t_i} | F(t_i) – F^*(t_i) |, \tag{3}$$

6. Сравнение меры q с квантилем распределения Колмогорова Z_{1-a} для выбранного значения уровня значимости α.

При проверке согласия эмпирической и теоретической вероятностей безотказной работы системы максимальная разность определяется из выражения

$$d = \max_t |\, P(t) - P^*(t)|.$$

2.3. Варианты индивидуальных заданий

Вариант 1

Система состоит из трех групп элементов.

Основной элемент первой группы резервных элементов не имеет. Закон распределения времени его безотказной работы

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}01 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено нормальному закону распределения

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 10 \text{ [час]}; \sigma = 2 \text{ [час]}.$$

Закон распределения времени безотказной работы переключателя

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 100 \text{ [час]}.$$

Вероятность обнаружения отказа работающего элемента переключателем R = 0,97.

Основной элемент третьей группы зарезервирован одним элементом, находящимся в ненагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 15 \text{ [час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено нормальному закону распределения

$$g(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 8 \text{ [час]}; \sigma = 1 \text{ [час]}.$$

Закон распределения времени безотказной работы переключателя

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}01 \text{ [1/час]}.$$

Вероятность обнаружения отказа работающего элемента переключателем R = 0,98.

<u>Вариант 2</u>

Система состоит из трех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован одним элементом, находящимся в нагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону распределения

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Время восстановления каждого элемента также подчинено экспоненциальному закону распределения

$$g(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея:

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 20 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован одним элементом, находящимся в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено нормальному закону распределения

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 50 \text{ [час]}; \; \sigma = 10 \text{ [час]}.$$

Подключение резервных элементов осуществляется переключающим устройством. Его характеристики:

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}},\ m = 100 \text{ [час]; } \sigma = 10 \text{ [час]; } R = 0{,}96.$$

<u>Вариант 3</u>

Система состоит из трех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},\quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован одним элементом, находящимся в ненагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},\quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено нормальному закону

$$g(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}},\ m = 15 \text{ [час]; } \sigma = 3 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован четырьмя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}},\quad M = 20 \text{ [час]}.$$

Резервные элементы включаются в работу переключающим устройством. Его характеристики:

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}},\ m = 100 \text{ [час]; } \sigma = 10 \text{ [час]; } R = 0{,}95.$$

<u>Вариант 4</u>

Система состоит из четырех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}04 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован одним элементом, находящимся в нагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 15 \text{ [час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$g(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован тремя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}02 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент четвертой группы резервных элементов не имеет. Время его безотказной работы подчинено нормальному закону

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 100 \text{ [час]}; \; \sigma = 20 \text{ [час]}.$$

Резервные элементы включаются в работу через переключающее устройство. Его характеристики:

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 100 \text{ [час]}; \; \sigma = 10 \text{ [час]}; \; R = 0{,}96.$$

<u>Вариант 5</u>

Система состоит из трех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован одним элементом, находящимся в ненагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 20 \text{ [час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено нормальному закону

$$g(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 15 \text{ [час]}; \sigma = 5 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован тремя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 50 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 50 \text{ [час]}.$$

Резервные элементы включаются в работу через переключающее устройство. Его характеристики:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}01 \text{ [1/час]}; R = 0{,}98.$$

<u>Вариант 6</u>

Система состоит из четырех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован тремя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}04 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы резервных элементов не имеет. Время безотказной работы каждого элемента подчинено нормальному закону

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}},\ m = 100 \text{ [час]};\ \sigma = 25 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован одним элементом, находящимся в нагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},\quad \lambda = 0{,}01 \text{ [1/час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено закону Релея

$$g(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}},\quad M = 10 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент четвертой группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},\quad \lambda = 0{,}02 \text{ [1/час]}.$$

Включение в работу резервных элементов осуществляется переключающим устройством. Его характеристики:

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}},\quad M = 100 \text{ [час]};\ R = 0{,}96.$$

<u>Вариант 7</u>

Система состоит из трех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован одним элементом, находящимся в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Закон распределения времени безотказной работы элементов

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},\quad \lambda = 0{,}05 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено нормальному закону распределения

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \ m = 10 \text{ [час]}; \ \sigma = 2 \text{ [час]}.$$

Закон распределения времени безотказной работы переключателя

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 100 \text{ [час]}.$$

Вероятность обнаружения им отказа работающих элементов R = 0,97.

Основной элемент третьей группы зарезервирован одним элементом, находящимся в ненагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 15 \text{ [час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено нормальному закону распределения

$$g(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \ m = 8 \text{ [час]}; \ \sigma = 1 \text{ [час]}.$$

Закон распределения времени безотказной работы переключателя

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}05 \text{ [1/час]}.$$

Вероятность обнаружения отказа R = 0,98.

Вариант 8

Система состоит из трех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован одним элементом, находящимся в нагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону распределения

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено экспоненциальному закону распределения

$$g(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 20 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено нормальному закону распределения

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 50 \text{ [час]}; \sigma = 10 \text{ [час]}.$$

Подключение резервных элементов осуществляется переключающим устройством. Его характеристики:

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 50 \text{ [час]}; \sigma = 10 \text{ [час]}; R = 0{,}96.$$

Вариант 9

Система состоит из трех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Отказавшие элементы восстанавливаются. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено нормальному закону

$$g(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}},\ m = 8 \text{ [час]; } \sigma = 3 \text{ [час].}$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован четырьмя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}},\quad M = 20 \text{ [час].}$$

Резервные элементы включаются в работу через переключающее устройство. Его характеристики:

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}},\ m = 100 \text{ [час]; } \sigma = 10 \text{ [час]; } R = 0{,}95.$$

<u>Вариант 10</u>

Система состоит из четырех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},\quad \lambda = 0{,}04 \text{ [1/час].}$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован одним элементом, находящимся в нагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}},\quad M = 10 \text{ [час].}$$

Время восстановления каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$g(t) = \lambda e^{-\lambda t},\quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час].}$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован тремя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}02 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент четвертой группы зарезервирован одним элементом, находящимся в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время его безотказной работы подчинено нормальному закону

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 100 \text{ [час]}; \sigma = 20 \text{ [час]}.$$

Резервные элементы включаются в работу через переключающее устройство. Его характеристики:

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 100 \text{ [час]}; \sigma = 10 \text{ [час]}; R = 0{,}96.$$

<u>Вариант 11</u>

Система состоит из трех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 20 \text{ [час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено нормальному закону

$$g(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 15 \text{ [час]}; \sigma = 5 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован тремя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Отказавшие элементы восстанавливаются. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}04 \text{ [1/час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено нормальному закону

$$g(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 15 \text{ [час]}; \sigma = 3 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 50 \text{ [час]}.$$

Резервные элементы включаются в работу через переключающее устройство. Его характеристики:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}01 \text{ [1/час]}; R = 0{,}98.$$

<u>Вариант 12</u>

Система состоит из четырех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован тремя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}04 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован одним элементом, находящимся в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено нормальному закону

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 100 \text{ [час]}; \sigma = 25 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован одним элементом, находящимся в нагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено закону Релея

$$g(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 10 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент четвертой группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}02 \text{ [1/час]}.$$

Подключение резервных элементов осуществляется переключающим устройством. Его характеристики:

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 10 \text{ [час]}; R = 0{,}96.$$

<u>Вариант 13</u>

Система состоит из трех групп элементов.

Основной элемент первой группы резервных элементов не имеет. Закон распределения времени его безотказной работы

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}01 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован одним элементом, находящимся в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено нормальному закону распределения

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 10 \text{ [час]}; \sigma = 2 \text{ [час]}.$$

Закон распределения времени безотказной работы переключателя

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 100 \text{ [час]}.$$

Вероятность обнаружения им отказа работающих элементов переключателями $R = 0{,}97$.

Основной элемент третьей группы зарезервирован одним элементом, находящимся в ненагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 15 \text{ [час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено нормальному закону распределения

$$g(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}},\ m = 8 \text{ [час]};\ \sigma = 1 \text{ [час]}.$$

Закон распределения времени безотказной работы переключателя

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},\quad \lambda = 0{,}01 \text{ [1/час]}.$$

Вероятность обнаружения отказа $R = 0{,}98$.

Вариант 14

Система состоит из трех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован одним элементом, находящимся в нагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону распределения

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},\quad \lambda = 0{,}05 \text{ [1/час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено экспоненциальному закону распределения

$$g(t) = \lambda e^{-\lambda t},\quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован одним элементом, находящимся в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}},\quad M = 20 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован одним элементом, находящимся в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено нормальному закону распределения

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}},\ m = 50 \text{ [час]};\ \sigma = 10 \text{ [час]}.$$

Подключение резервных элементов осуществляется переключающим устройством. Его характеристики:

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}},\ m = 100\ [\text{час}];\ \sigma = 10\ [\text{час}];\ R = 0{,}96.$$

Вариант 15

Система состоит из трех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},\quad \lambda = 0{,}1\ [1/\text{час}].$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован одним элементом, находящимся в ненагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},\quad \lambda = 0{,}1\ [1/\text{час}].$$

Время восстановления каждого элемента подчинено нормальному закону

$$g(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}},\ m = 8\ [\text{час}];\ \sigma = 3\ [\text{час}].$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован тремя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}},\quad M = 20\ [\text{час}].$$

Резервные элементы включаются в работу через переключающее устройство. Его характеристики:

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}},\ m = 100\ [\text{час}];\ \sigma = 10\ [\text{час}];\ R = 0{,}95.$$

Вариант 16

Система состоит из четырех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}04 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован одним элементом, находящимся в нагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 10 \text{ [час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$g(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}02 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент четвертой группы резервных элементов не имеет. Время безотказной работы подчинено нормальному закону

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \ m = 100 \text{ [час]}; \ \sigma = 20 \text{ [час]}.$$

Резервные элементы включаются в работу через переключающее устройство. Его характеристики:

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \ m = 100 \text{ [час]}; \ \sigma = 10 \text{ [час]}; \ R = 0{,}96.$$

Вариант 17

Система состоит из трех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован одним элементом, находящимся в ненагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 20 \text{ [час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено нормальному закону

$$g(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 15 \text{ [час]}; \; \sigma = 5 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}04 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея.

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 50 \text{ [час]}.$$

Резервные элементы включаются в работу через переключающее устройство. Его характеристики:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}04 \text{ [1/час]}; \; R = 0{,}98.$$

Вариант 18

Система состоит из четырех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}04 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы резервных элементов не имеет. Время его безотказной работы подчинено нормальному закону

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 100 \text{ [час]}; \sigma = 25 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован одним элементом, находящимся в нагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 10 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент четвертой группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}02 \text{ [1/час]}.$$

Включение в работу резервных элементов осуществляется переключающим устройством. Его характеристики:

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 100 \text{ [час]}; R = 0{,}96.$$

Вариант 19

Система состоит из трех групп элементов.

Основной элемент первой группы резервных элементов не имеет. Закон распределения времени его безотказной работы

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}01 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в нагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено нормальному закону распределения

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}},\ m = 10 \text{ [час]}; \sigma = 2 \text{ [час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено экспоненциальному закону распределения

$$g(t) = \lambda e^{-\lambda t},\quad \lambda = 0{,}2 \text{ [1/час]}.$$

Закон распределения времени безотказной работы переключателя

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}},\quad M = 10 \text{ [час]}.$$

Вероятность обнаружения им отказа работающих элементов R = 0,97.

Основной элемент третьей группы зарезервирован одним элементом, находящимся в ненагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}},\quad M = 15 \text{ [час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено нормальному закону распределения

$$g(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}},\ m = 8 \text{ [час]}; \sigma = 1 \text{ [час]}.$$

Закон распределения времени безотказной работы переключателя

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},\quad \lambda = 0{,}01 \text{ [1/час]}.$$

Вероятность обнаружения отказа R = 0,98.

Вариант 20

Система состоит из трех групп элементов.

Основной элемент первой группы зарезервирован одним элементом, находящимся в нагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено экспоненциальному закону распределения

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$g(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}1 \text{ [1/час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент второй группы зарезервирован двумя элементами, находящимися в ненагруженном состоянии. Восстановление отсутствует. Время безотказной работы каждого элемента подчинено закону Релея

$$f(t) = \frac{t}{M^2} e^{-\frac{t^2}{2M^2}}, \quad M = 20 \text{ [час]}.$$

Переключатель идеальный.

Основной элемент третьей группы зарезервирован одним элементом, находящимся в нагруженном состоянии. Отказавший элемент восстанавливается. Время безотказной работы каждого элемента подчинено нормальному закону распределения

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 50 \text{ [час]}; \; \sigma = 10 \text{ [час]}.$$

Время восстановления каждого элемента подчинено экспоненциальному закону

$$g(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0{,}04 \text{ [1/час]}.$$

Подключение резервных элементов осуществляется переключающим устройством. Его характеристики:

$$f(t) = \frac{t}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}, \; m = 100 \text{ [час]}; \; \sigma = 10 \text{ [час]}; \; R = 0{,}96.$$

3. Содержание отчета

По выполнению задания каждый курсант должен представить отчет. Отчет должен содержать:

– название практического занятия;
– цель занятия;
– индивидуальное задание к работе;
– информацию об исследуемой системе;
– результаты статистического моделирования исследуемой системы;
– графики экспериментальной и теоретической вероятностей безотказной работы и результаты проверки согласия распределений по критерию Колмогорова;
– выводы о надежности системы и отдельных ее элементов. по работе.

Отчетный материал представляется преподавателю, и результаты защищаются с выставлением оценки.

4. Критерии для оценивания выполнения индивидуального задания

«Отлично», если обучающийся правильно выполнил индивидуальное задание и правильно ответил на заданные преподавателем контрольные вопросы.

«Хорошо», если обучающийся правильно выполнил индивидуальное задание и правильно ответил не на все заданные преподавателем контрольные вопросы.

«Удовлетворительно», если обучающийся неправильно выполнил индивидуальное задание, но правильно ответил на большинство заданных преподавателем контрольных вопросов.

«Неудовлетворительно», если обучающийся неправильно выполнил индивидуальное задание и не ответил на заданные преподавателем контрольные вопросы.

5. Контрольные вопросы

1. В чем состоит сущность метода статистического моделирования?
2. Каким образом решается задача моделирования случайных событий по заданным вероятностям их появления?
3. Как определить значение случайной величины по заданному закону распределения?
4. Как по результатам N испытаний определить среднее время работы исправной системы?
5. Как по результатам испытаний определяется вероятность безотказной работы?
6. Что такое доверительная вероятность?
7. Что такое доверительный интервал?

8. Как проверить гипотезу о согласовании статистического и теоретического распределений?
9. Что такое критерий согласия Колмогорова?
10. Как определяется время исправной работы системы при основном соединении элементов? Нарисуйте временную диаграмму.
11. Как определяется время исправной работы системы при ненагруженном резервировании без восстановления отказавших элементов? Нарисуйте временную диаграмму.
12. Как определяется время исправной работы системы при нагруженном резервировании без восстановления отказавших элементов? Нарисуйте временную диаграмму.
13. Как определяется время исправной работы системы при ненагруженном резервировании с восстановлением отказавших элементов? Нарисуйте временную диаграмму.
14. Как определяется время исправной работы системы при нагруженном резервировании с восстановлением отказавших элементов? Нарисуйте временную диаграмму.

_______________В. Тимофеев________
(воинское звание, подпись, инициал имени, фамилия автора)

«____» ___________ 20___ г.