

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**Н.А. Евдокимова**

## **НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК**

Учебно-методическое пособие по выполнению расчетно-графической работы  
для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки  
20.03.01 Техносферная безопасность

Калининград  
2024

Рецензент

доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Калининградский  
государственный технический университет» Минько В.М.

**Евдокимова, Н.А.** Надежность технических систем и техногенный риск: учеб.-метод. пособие по выполнению расчетно-графической работы для студ. бакалавриата по напр. подгот. 20.03.01 Техносферная безопасность / **Н.А. Евдокимова.** – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2024. – 23 с.

В учебно-методическом пособии по выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск» представлены порядок разработки курсовой работы, требования к структуре, объему, содержанию и оформлению, а также список рекомендуемых источников.

Рис. – 3, табл. 2, список лит. – 14 наименований

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие по выполнению расчетно-графической работы. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института рыболовства и аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 28 августа 2024 г., протокол № 6

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Порядок разработки расчетно-графической работы .....	6
2. Требования к структуре, объему, содержанию и оформлению расчетно-графической работы .....	7
3. Защита расчетно-графической работы .....	16
4. Критерии и нормы оценки расчетно-графической работы.....	16
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	18
Приложение А. Титульный лист пояснительной записки расчетно-графической работы.....	19
Приложение Б. Определение вероятности безотказной работы системы.....	20

## ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие разработано для направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» (для очной форм обучения) по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск», входящей в профессиональный модуль части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1. Дисциплины (модули).

Целью освоения дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» является формирование знаний и навыков, направленных на умение прогнозировать, оценивать, устранять причины, смягчать последствия нештатного взаимодействия компонентов в системах типа человек-машина-среда, а также способного создавать современную технику.

Задачи дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск»: формирование способности у обучаемых разработки физических и математических моделей системы человек-машина-среда; анализ показателей надежности систем данного вида; анализ опасностей и рисков, связанных с созданием и эксплуатацией современной техники и технологий.

Цель расчетно-графической работы – углубление, систематизация и закрепление знаний полученных в лекционном курсе “ Надежность технических систем и техногенный риск ”, на практических занятиях, а также выработка навыков самостоятельной работы с нормативно-технической документацией, умения анализировать и обобщать теоретический и практический материал, использовать результаты анализа для принятия решений.

Задачами расчетно-графической работы являются:

- изучение понятийного аппарата современной теории надёжности технических систем и техногенного риска;
- изучение методов оценки показателей надежности систем данного вида;
- изучение методов анализа риска технических систем.

В результате выполнения расчетно-графической работы по дисциплине студент должен

**знать:**

- основные принципы анализа и моделирования надежности технических систем;
- основные принципы определения приемлемого риска.

**уметь:**

- проводить расчеты надежности и работоспособности основных видов механизмов;
- прогнозировать аварии и катастрофы.

**владеть:**

- методами математического моделирования надежности и безопасности работы отдельных звеньев реальных технических систем и технических объектов в целом.

Учебно-методическое пособие состоит из:

введения, где указаны: шифр, наименование направления подготовки (специальности); дисциплина учебного плана, для изучения которой оно предназначено; цель и планируемые результаты выполнения расчетно-графической работы; место дисциплины в структуре ОПОП ВО;

основной части, которая содержит порядок разработки расчетно-графической работы; требования к структуре, объему, содержанию и оформлению расчетно-графической работы; описание организации защиты расчетно-графической работы; критерии и нормы оценки расчетно-графической работы; списка рекомендуемых источников; приложений.

## 1. Порядок разработки расчетно-графической работы

Студенты всей учебной группы разрабатывают расчетно-графической работу на тему «Расчет показателей надежности технических систем и качественный анализ надежности технических систем», где выполняют одинаковое типовое задание с учетом конкретных исходных данных в зависимости от шифра зачетной книжки.

Порядок разработки расчетно-графической работы включает следующие этапы:

- ознакомление с заданием для выполнения расчетно-графической работы;

- подбор литературы и нормативных правовых актов, необходимых для выполнения задания по расчетно-графической работе, который осуществляется студентом самостоятельно на основе предлагаемого перечня литературы по дисциплине;

- изучение подобранной литературы, что предполагает конспектирование источников. Результатом этой работы должна стать систематически изложенная информация, способствующая выполнению задания по расчетно-графической работе;

- изложение содержания расчетно-графической работы обязательно предваряется составлением плана. План служит основой для определения структуры работы.

Ознакомление с заданием – важный этап, по существу являющийся началом работы над расчетно-графической работой.

Подбор материалов. Составление плана работы и его исполнение. После ознакомлением с заданием для выполнения расчетно-графической работы студент должен заняться подбором основной литературы, освещающей вопросы указанной темы. Подбор и изучение литературных источников – важный, сложный и трудоемкий этап в подготовке расчетно-графической работы.

Перечень литературы по теме не должен быть слишком объемным, так как нередко это может затруднить процесс работы. В период подбора литературы студент предварительно знакомится с ее содержанием, так как это необходимо для разработки плана работы. обстоятельное изучение литературных источников осуществляется после разработки плана.

После предварительного ознакомления с основной литературой составляется план работы, в соответствии с которым ведется изложение материала, и который должен соответствовать структуре расчетно-графической работы. Выделение определенных аспектов, конкретных вопросов, установление очередности их изложения помогает сделать работу стройной, логичной.

## 2. Требования к структуре, объему, содержанию и оформлению расчетно-графической работы

Структура расчетно-графической работы должна выглядеть следующим образом:

Введение

1. Обзор нормативных документов
2. Расчет показателей надежности технической системы
3. Характеристика методов качественного анализа надежности и риска
4. Анализ надежности технической системы с помощью дерева причин

потенциального чепе

Заключение

Список использованной литературы

Форма титульного листа пояснительной записки курсовой работы приведена в приложении А.

**Во введении** студент обосновывает важность и актуальность темы расчетно-графической работы, её значение для повышения безопасности технологических процессов и производств, устойчивости функционирования объектов экономики. Здесь же раскрывается краткое содержание основных разделов расчетно-графической работы. Введение не нумеруется.

1. При написании **обзора имеющихся нормативных документов** необходимо дать их краткую характеристику, раскрыть основные правила и методы оценки рисков технических систем, основные понятия надежности технических систем и установления их номенклатуры, методы управления надежностью, а также методы анализа отказов в технике. В учебно-методическом пособии приведен список рекомендуемых источников (некоторые нормативные правовые акты и другие источники), которые могут быть использованы при написании расчетно-графической работы.

2. **Формулы для расчета показателей надежности** технической системы приведены ниже.

При экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы технической системы ( $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$ ) показатели безотказности примут следующий вид. Вероятность безотказной работы  $P(t)$  за время  $t$ :

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (1)$$

Вероятность отказа  $Q(t)$ :

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Частота отказов  $f(t)$ :

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

Интенсивности отказов  $\lambda(t)$ :

$$\lambda(t) = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda. \quad (4)$$

Средняя наработка до отказа  $T_{cp}$ :

$$T_{cp} = 1/\lambda. \quad (5)$$

Допустим, что система состоит из  $n$  последовательно включенных элементов. Функциональные связи элементов системы, при которых отказ системы наступает при отказе хотя бы одного из элементов, называют последовательным соединением. Из теории вероятностей известно, что если определены вероятности появления нескольких независимых случайных событий, то совпадение этих событий определяется как произведение вероятностей их появлений. В нашем случае работоспособное состояние любого из  $n$  элементов системы оценивается как вероятность безотказной работы элемента. Система будет находиться в работоспособном состоянии только при условии совпадения работоспособных состояний всех элементов. Таким образом, работоспособность системы оценивается как произведение вероятностей безотказной работы элементов:

$$P(t) = P_1(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (6)$$

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

Функциональные связи элементов, при которых отказ системы наступает только при отказе всех элементов, называют параллельным соединением. Если система состоит из  $m$  параллельно соединенных элементов с известными вероятностями безотказной работы  $P_j(t)$  и независимыми отказами, правило умножения вероятностей можно применить к вероятности отказа системы

$$Q(t) = Q_1(t) \cdot \dots \cdot Q_m(t) = \prod_{j=1}^m Q_j(t). \quad (7)$$

Поскольку  $Q(t) = 1 - P(t)$ , то вероятность безотказной работы системы

$$P(t) = 1 - \prod_{j=1}^m Q_j(t) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_j(t)). \quad (8)$$

При экспоненциальном законе распределения надежности и равнонадежных элементах получаем

$$P(t) = 1 - (1 - P_j(t))^m. \quad (9)$$

Многие системы имеют смешанное соединение, когда общее функционирование определяется последовательным и параллельным соединением элементов. На рисунке 1 показана структурная схема, состоящая из  $m$  параллельных цепей, каждая из которых состоит из  $n$  последовательно соединенных элементов. Такие схемы моделируют системы с общим резервированием.

Для расчета схемы надо в формуле (8) вероятность  $P_j(t)$  выразить через вероятность последовательной цепи (6)

$$P(t) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - \prod_{i=1}^n P_{ij}(t)), \quad (10)$$

где  $P_{ij}(t)$  – вероятность безотказной работы элемента системы с общим резервированием.



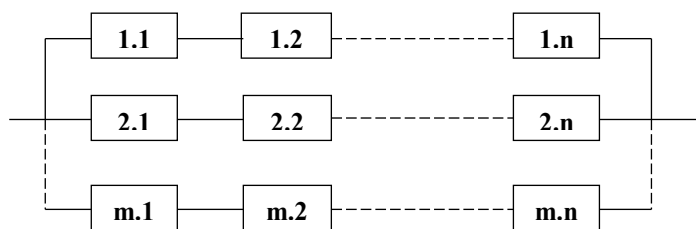


Рисунок 1 – Система с общим резервированием

Если считать, что вероятность безотказной работы всех элементов одинакова ( $P_{ij}(t) = P$ ), то результирующая надежность схемы определяется

$$P(t) = 1 - (1 - P^n)^m. \quad (11)$$

На рисунке 2 показана структурная схема, в которой последовательно соединены  $n$  групп, состоящих из  $m$  параллельно включенных элементов. Такие схемы называют отдельным резервированием.

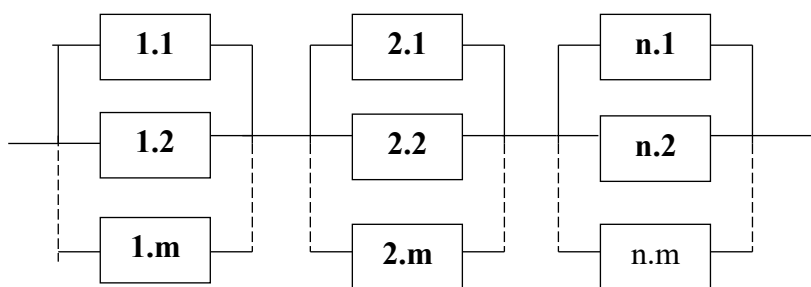


Рисунок 2 – Система с отдельным резервированием

В данном случае надежность отдельной группы параллельно соединенных элементов определяется формулой (8), а для всей схемы

$$P(t) = \prod_{i=1}^n (1 - \prod_{j=1}^m Q_{ij}(t)) = \prod_{i=1}^n \left\{ 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_{ij}(t)) \right\}, \quad (12)$$

где  $Q_{ij}(t)$  – вероятность отказа элемента системы с отдельным резервированием;

$P_{ij}(t)$  – вероятность безотказной работы элемента системы с отдельным резервированием.

### Задание во второй части расчетно-графической работы

Пускорегулирующая аппаратура представлена структурной схемой надежности, изображенной на рисунке 3. Определить количественные характеристики надежности работы элементов: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, частоту отказов и среднюю наработку до отказа для  $t=5000$  ч., а также вероятность безотказной работы всей схемы в целом. Время работы элементов системы до отказа подчинено экспоненциальному закону распределе-

ния. Значения интенсивности отказов каждого элемента системы приведены в таблице 1. Пример выполнения задания приведен в Приложении Б.

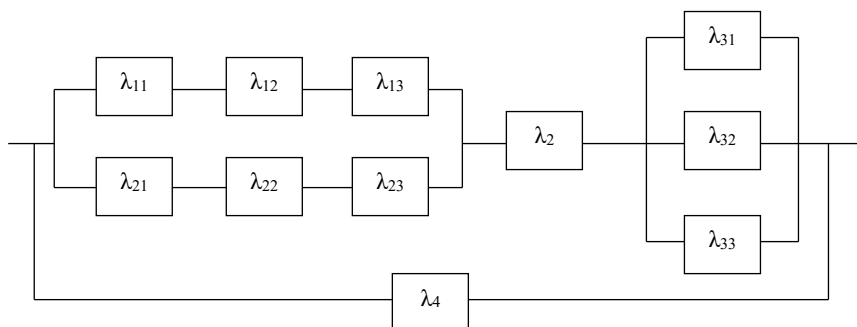


Рисунок 3 – Структурная схема пускорегулирующей аппаратуры

Таблица 1 – Интенсивность отказов элементов системы,  $\lambda \cdot 10^{-5}$  1/ч

Последняя цифра зачетной книжки	$\lambda_{11}$	$\lambda_{12}$	$\lambda_{13}$	$\lambda_{21}$	$\lambda_{22}$	$\lambda_{23}$	$\lambda_2$	$\lambda_{31}$	$\lambda_{32}$	$\lambda_{33}$	$\lambda_4$
0	0,80	0,92	1,2	2,2	0,84	1,7	2,9	3,5	3,2	2,8	0,96
1	0,82	0,90	1,1	2,1	0,86	1,8	2,8	3,6	3,0	2,6	0,98
2	0,84	0,94	1,4	2,3	0,83	1,9	2,9	3,4	3,3	2,7	0,99
3	0,80	0,96	1,3	2,1	0,80	1,7	3,0	3,3	3,3	2,6	0,97
4	0,85	0,93	1,2	2,0	0,82	1,8	2,8	3,6	3,2	2,6	0,97
5	0,83	0,95	1,2	2,2	0,85	1,8	3,0	3,5	3,1	2,7	0,99
6	0,84	0,91	1,4	2,4	0,83	1,7	2,8	3,4	3,0	2,8	0,96
7	0,81	0,92	1,3	2,3	0,82	1,9	2,7	3,3	3,2	2,8	0,97
8	0,82	0,90	1,1	2,5	0,80	1,8	2,9	3,5	3,1	2,6	0,98
9	0,85	0,94	1,2	2,0	0,81	1,7	3,0	3,6	3,3	2,7	0,99

### 3. Характеристика методов качественного анализа надежности и риска

Анализ опасностей позволяет определить источники опасностей, потенциальные н-чепе, чепе-инициаторы, последовательность развития событий, вероятности чепе, величину риска, величину последствий, пути предотвращения чепе и смягчения последствий.

На практике анализ риска начинают с грубого исследования, позволяющего идентифицировать в основном источники опасностей. Затем при необходимости исследования могут быть углублены, и может быть проведен детальный качественный анализ. Выбор того или иного качественного метода анализа зависит от преследуемой цели, предназначения объекта и его сложности. При этом устанавливаются логические связи, что необходимо для расчета вероятно-

стей чепе. Методы расчета вероятностей и статистический анализ являются составными частями количественного анализа опасностей. Когда удастся оценить ущерб, то можно провести численный анализ риска. При анализе риска всегда принимают во внимание используемые материалы, рабочие параметры системы, наличие и состояние контрольно-измерительных средств. Исследования заканчиваются предложениями по минимизации или предотвращению риска.

Качественные методы анализа включают: предварительный анализ опасностей, анализ последствий отказов, анализ опасностей с помощью дерева причин, анализ опасностей с помощью дерева последствий, анализ опасностей методом потенциальных отклонений, анализ ошибок персонала, причинно-следственный анализ.


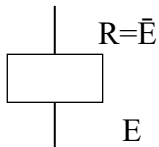
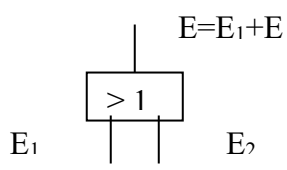
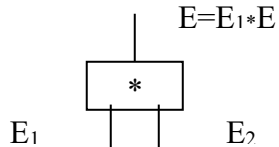
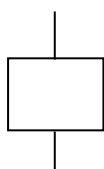
В третьем разделе необходимо дать характеристику названным качественным методам анализа надежности и риска технических систем. В первую очередь следует указать метод, с которого начинаются исследования, и который позволяет идентифицировать источники опасности. Затем необходимо раскрыть сущность и методики применения всех остальных методов, позволяющих провести более детальный анализ возможных событий. Для разработки данного раздела расчетно-графической работы можно использовать источники [10,11].

#### **4. Анализ надежности технической системы с помощью дерева причин потенциального чепе**

В четвертом разделе курсовой работы требуется провести анализ надежности технической системы с помощью дерева причин потенциального чепе (АОДП). АОДП обычно выполняют в следующем порядке. Сначала выбирают потенциальное чепе (например, н-чепе или какой-либо отказ, который может привести к н-чепе). Затем выявляют все факторы, которые могут привести к данному чепе (системы, подсистемы, события, связи и т.д.). По результатам этого анализа строят ориентированный граф. Вершина этого графа занумерована потенциальным чепе. Поэтому граф является деревом. При построении дерева можно использовать символы, представленные в таблице 2.

Проведение АОДП возможно только после детального изучения рабочих функций всех компонентов рассматриваемой технической системы. На работу системы оказывает влияние человеческий фактор, например, возможность совершения оператором ошибки. Поэтому желательно все потенциальные инциденты – «отказы операторов» - вводить в содержание дерева причин.

Таблица 2 - Символы для построения дерева причин потенциального чепе

№ п/п	Элемент и его символ	Комментарий
1	Вход 	Элемент «вход» обозначает соответствующее чепе
2	Элемент НЕ 	Элемент «НЕ» обозначает ненаступление события (отрицание)
3	Элемент ИЛИ 	Элемент ИЛИ может иметь любое число входов (показано два). Чепе E наступает при появлении хотя бы одного из событий $E_i$ . Для получения логической формулы чепе обозначают +.
4	Элемент И 	Элемент И может иметь любое число входов (показано два). Чепе E наступает при появлении всех событий $E_i$ . Для получения логической формулы чепе обозначают *.
5	Ремарка 	Элемент служит для описания входа, выхода, логических связей

### Задание в четвертой части расчетно-графической работы

Построить дерево причин потенциального чепе, заключающегося в прекращении выработки электроэнергии генератором. Причинами этого может быть хотя бы одно из событий: обрыв цепи выключателя; отказ внутренней обмотки двигателя; вторичные отказы; отключение сети. Отключение сети может произойти либо из-за отказа сети, либо из-за перегорания предохранителя. Вторичные отказы могут быть обусловлены либо неудовлетворительным техническим обслуживанием, либо аномальными условиями эксплуатации, либо внешними катастрофами (пожар, наводнение и т.п.). Можно использовать источники [10,11].

**Заключение** по расчетно-графической работе должно содержать перечисление основных полученных результатов, краткие комментарии по ним, указание на возможность повышения уровня надежности технических систем.

## **Требования к оформлению расчетно-графической работы**

Написание расчетно-графической работы осуществляется в соответствии с календарным графиком, согласно которому устанавливаются конкретные сроки выполнения, сдачи работы и ее защиты.

Изложение материала должно быть грамотным, логичным. Текст должен быть отредактирован. Не допускается сокращение слов, кроме общепринятой аббревиатуры.

Объем работы - не более 25 страниц печатного текста формата стандартного листа (А4). Оформление расчетно-графической работы должно быть выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32 – 2017 Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. «Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления». Текст расчетно-графической работы следует печатать, соблюдая следующие размеры полей: левое - 30 мм, правое - 15 мм, верхнее и нижнее - 20 мм. Абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту отчета и равен 1,25 см. Цвет шрифта должен быть черным, размер шрифта – 12-14 пт, межстрочный интервал – 1,5. Страницы пояснительной записки следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту, включая приложения. Номер страницы проставляется в центре нижней части страницы без точки. Титульный лист включают в общую нумерацию страниц пояснительной записки. Номер страницы на титульном листе не проставляют.

Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всей пояснительной записки, обозначенные арабскими цифрами без точки и расположенные с абзацного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Разделы, как и подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов. Заголовки разделов и подразделов следует начинать с абзацного отступа и размещать после порядкового номера, печатать с прописной буквы, полужирным шрифтом, не подчеркивать, без точки в конце. Каждый раздел начинают с новой страницы.

Иллюстрации (графики, схемы и т.п.) следует располагать в пояснительной записке непосредственно после текста, где они упоминаются впервые, или на следующей странице. На все иллюстрации должны быть даны ссылки. При ссылке необходимо писать слово "рисунок" и его номер. Иллюстрации, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией (например, Рисунок 1 - Схема прибора). Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой: Рисунок 2.1. При этом слово "Рисунок", его номер и через тире наименование помещают после пояснительных данных и располагают в центре под рисунком без точки в конце.

Таблицу следует располагать непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице. На все таблицы должны быть ссылки. При ссылке следует печатать слово "таблица" с указанием ее номера. Наименование следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в следующем формате: Таблица Номер таблицы - Наименование таблицы. Наименование таблицы приводят с прописной буквы без точки в конце. Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другую страницу. При переносе части таблицы на другую страницу слово "Таблица", ее номер и наименование указывают один раз слева над первой частью таблицы, а над другими частями также слева пишут слова "Продолжение таблицы" и указывают номер таблицы. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела при большом объеме пояснительной записки. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой: Таблица 2.3. Таблицы слева, справа, сверху и снизу ограничивают линиями.

Формулы следует выделять из текста в отдельную строку. Выше и ниже каждой формулы должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Пояснение значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в которой они представлены в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента необходимо приводить с новой строки. Первую строку пояснения начинают со слова "где" без двоеточия с абзаца. Формулы следует располагать посередине строки и обозначать порядковой нумерацией в пределах всей пояснительной записки арабскими цифрами в круглых скобках в крайнем правом положении на строке. Одну формулу обозначают (1). Ссылки на порядковые номера формул приводятся в скобках: в формуле (1). Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой: (3.1).

В пояснительной записке рекомендуется приводить ссылки на использованные источники. При нумерации ссылок на документы приводится сплошная нумерация для всего текста в целом или для отдельных разделов. Порядковый номер ссылки (отсылки) приводят арабскими цифрами в квадратных скобках в конце текста ссылки. Порядковый номер библиографического описания источника в списке использованных источников соответствует номеру ссылки. Примеры оформления библиографических описаний различных источников приведены в приложении Д к ГОСТ 7.32 – 2017. Список литературы необходимо оформлять в соответствии с требованиями по библиографическому описанию произведений печати.

В тексте пояснительной записки на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте пояснительной записки. Каждое приложение следует размещать с новой страницы с

указанием в центре верхней части страницы слова "ПРИЛОЖЕНИЕ". Приложение должно иметь заголовок, который записывают с прописной буквы, полужирным шрифтом, отдельной строкой по центру без точки в конце. Приложения обозначают прописными буквами кириллического алфавита, начиная с А. Все приложения должны быть перечислены в содержании отчета (при наличии) с указанием их обозначений, статуса и наименования.

### **3. Защита расчетно-графической работы**

Защита расчетно-графической работы проводится в рамках проведения промежуточной аттестации в установленные преподавателем сроки согласно расписанию. Студент в течение 7–10 минут кратко характеризует: актуальность темы, цель работы, основное содержание работы, выводы и предложения по работе. По окончании доклада студенту задаются вопросы.

### **4. Критерии и нормы оценки расчетно-графической работы**

Критериями оценки расчетно-графической работы являются:

- актуальность и степень разработанности темы;
- умение сформулировать цель и определить пути ее достижения;
- владение понятийным и терминологическим аппаратом;
- владение современными методами поиска и обработки информации;
- творческий подход и самостоятельность в анализе, обобщениях и выводах;
- полнота охвата первоисточников и исследовательской литературы;
- научная обоснованность и аргументированность обобщений, выводов и рекомендаций;
- владение научным стилем речи, орфографическими и пунктуационными нормами;
- соблюдение всех требований к оформлению расчетно-графической работы и сроков ее исполнения.

По результатам защиты расчетно-графической работы выставляется экспертная оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно»):

- оценка «отлично» - ответ полный, правильный, понимание материала глубокое, основные умения сформированы и устойчивы; изложение логично, доказательно, выводы и обобщения точны и связаны с областью будущей специальности;
- оценка «хорошо» - ответ удовлетворяет вышеназванным требованиям, но изложение недостаточно систематизировано, отдельные умения недостаточно устойчивы, в определении понятий, в выводах и обобщениях имеются неточности, легко исправимые с помощью дополнительных вопросов преподавателя;
- оценка «удовлетворительно» - ответ обнаруживает понимание основных положений излагаемого материала, однако наблюдается значительная неполнота знаний; определение понятий нечёткое, умения сформированы недостаточно, выводы и обобщения аргументированы слабо, в них допускаются ошибки;



- оценка «неудовлетворительно» - ответ неправильный, показывает незнание основного материала, грубые ошибки в определении понятий, неумение работать с источниками.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 27.102-2021. Надежность в технике. «Надежность объекта. Термины определения».
2. ГОСТ 27.003-2016. Надежность в технике. «Состав и общие правила задания требований надежности».
3. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. «Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения».
4. РД 50-690-89. Методические указания. «Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным».
5. ГОСТ Р 12.0.010-2009. ССБТ. «Система управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков».
6. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценке риска аварий на опасных производственных объектах», утв. приказом Ростехнадзора от 11.04.2016 г. № 144.
7. ГОСТ Р 51901.1-2002. Менеджмент риска. «Анализ риска технологических систем».
8. ГОСТ Р 51897-2021. Менеджмент риска. «Термины и определения».
9. Воскобоев, В.Ф. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие / В.Ф. Воскобоев. – Москва: Альянс. Ч.1: Надежность технических систем. – 2014. – 200 с.
10. Евдокимова, Н.А. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие / Н.А. Евдокимова; КГТУ. – Калининград: КГТУ, 2004. – 146 с.
11. Безопасность жизнедеятельности: учеб. / ред. С.В. Белов; авт. В.А. Девисилов, А.В. Ильницкая. – Москва: Высшая шк., 2006. – 616 с.
12. Алымов, В.Т. Техногенный риск: Анализ и оценка: учеб. пособие для вузов / В.Т. Алымов, Н.П. Тарасова. – Москва: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 118 с.
13. Острейковский, В.А. Теория надежности: учеб. для вузов / В.А. Острейковский. – Москва: Высш. шк., 2003. – 463 с.
14. Сугак, Е. В. Прикладная теория надежности. Часть 2. Надежность технических систем / Е. В. Сугак. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 240 с. — ISBN 978-5-507-46747-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

ПРИЛОЖЕНИЕ А  
**Титульный лист пояснительной записки расчетно-графической  
работы**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра техносферной безопасности и природообустройства**

Расчетно-графическая работа допущена  
к защите

Руководитель расчетно-графической работы  
\_\_\_\_\_ Н.А. Евдокимова  
\_\_\_\_\_ 20\_\_

Расчетно-графическая работа защищена  
с оценкой \_\_\_\_\_

Руководитель расчетно-графической работы  
\_\_\_\_\_ Н.А. Евдокимова  
\_\_\_\_\_ 20\_\_

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск»

6-й семестр

Пояснительная записка

КР 20.03.01

ТЕМА: Расчет показателей надежности технических систем и качествен-  
ный анализ надежности технических систем

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_  
(подпись) (и.о., фамилия)

Расчетно-графическую работу выполнил  
студент группы \_\_\_\_-ТБ

\_\_\_\_\_  
(подпись) (и.о., фамилия)

Калининград

20\_\_

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Определение вероятности безотказной работы системы

Пускорегулирующая аппаратура представлена структурной схемой надежности, изображенной на рисунке 3. Определить количественные характеристики надежности работы элементов: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, частоту отказов и среднюю наработку до отказа для  $t=5000$  ч., а также вероятность безотказной работы всей схемы в целом. Время работы элементов системы до отказа подчинено экспоненциальному закону распределения. Значения интенсивности отказов каждого элемента:  $\lambda_{11}=0,8 \cdot 10^{-5}$  1/ч;  $\lambda_{12}=0,9 \cdot 10^{-5}$  1/ч;  $\lambda_{13}=1,0 \cdot 10^{-5}$  1/ч;  $\lambda_{21}=2,0 \cdot 10^{-5}$  1/ч;  $\lambda_{22}=0,8 \cdot 10^{-5}$  1/ч;  $\lambda_{23}=1,8 \cdot 10^{-5}$  1/ч;  $\lambda_2=3,0 \cdot 10^{-5}$  1/ч;  $\lambda_{31}=3,5 \cdot 10^{-5}$  1/ч;  $\lambda_{32}=3,0 \cdot 10^{-5}$  1/ч;  $\lambda_{33}=2,8 \cdot 10^{-5}$  1/ч;  $\lambda_4=0,98 \cdot 10^{-5}$  1/ч.

#### Решение

По формулам (1-3,5) определяем количественные характеристики надежности работы элементов.

Вероятность безотказной работы:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

$$P_{11}(t) = e^{-0,8 \cdot 10^{-5} \cdot 5000} = 0,961; P_{12}(t) = e^{-0,9 \cdot 10^{-5} \cdot 5000} = 0,956;$$

$$P_{13}(t) = e^{-1,0 \cdot 10^{-5} \cdot 5000} = 0,951; P_{21}(t) = e^{-2,0 \cdot 10^{-5} \cdot 5000} = 0,905;$$

$$P_{22}(t) = e^{-0,8 \cdot 10^{-5} \cdot 5000} = 0,961; P_{23}(t) = e^{-1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 5000} = 0,913;$$

$$P_2(t) = e^{-3,0 \cdot 10^{-5} \cdot 5000} = 0,861; P_{31}(t) = e^{-3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 5000} = 0,839;$$

$$P_{32}(t) = e^{-3,0 \cdot 10^{-5} \cdot 5000} = 0,861; P_{33}(t) = e^{-2,8 \cdot 10^{-5} \cdot 5000} = 0,869;$$

$$P_4(t) = e^{-0,98 \cdot 10^{-5} \cdot 5000} = 0,952$$

Вероятность отказа:

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - P(t)$$

$$Q_{11}(t) = 1 - P_{11}(t) = 1 - 0,961 = 0,039; Q_{12}(t) = 1 - P_{12}(t) = 1 - 0,956 = 0,044;$$

$$Q_{13}(t) = 1 - P_{13}(t) = 1 - 0,951 = 0,049; Q_{21}(t) = 1 - P_{21}(t) = 1 - 0,905 = 0,095;$$

$$Q_{22}(t) = 1 - P_{22}(t) = 1 - 0,961 = 0,039; Q_{23}(t) = 1 - P_{23}(t) = 1 - 0,913 = 0,087;$$

$$Q_2(t) = 1 - P_2(t) = 1 - 0,861 = 0,139; Q_{31}(t) = 1 - P_{31}(t) = 1 - 0,839 = 0,161;$$

$$Q_{32}(t) = 1 - P_{32}(t) = 1 - 0,861 = 0,139; Q_{33}(t) = 1 - P_{33}(t) = 1 - 0,869 = 0,131;$$

$$Q_4(t) = 1 - P_4(t) = 1 - 0,952 = 0,048$$

Частота отказов:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} = \lambda \cdot P(t) \text{ (1/ч)}$$

$$f_{11}(t) = \lambda_{11} \cdot P_{11}(t) = 0,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,961 = 0,7688 \cdot 10^{-5};$$

$$f_{12}(t) = \lambda_{12} \cdot P_{12}(t) = 0,9 \cdot 10^{-5} \cdot 0,956 = 0,8604 \cdot 10^{-5};$$

$$f_{13}(t) = \lambda_{13} \cdot P_{13}(t) = 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot 0,951 = 0,951 \cdot 10^{-5};$$

$$f_{21}(t) = \lambda_{21} \cdot P_{21}(t) = 2,0 \cdot 10^{-5} \cdot 0,905 = 1,81 \cdot 10^{-5};$$

$$f_{22}(t) = \lambda_{22} \cdot P_{22}(t) = 0,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,961 = 0,7688 \cdot 10^{-5};$$

$$f_{23}(t) = \lambda_{23} \cdot P_{23}(t) = 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,913 = 1,6434 \cdot 10^{-5};$$

$$f_2(t) = \lambda_2 \cdot P_2(t) = 3,0 \cdot 10^{-5} \cdot 0,861 = 2,583 \cdot 10^{-5};$$

$$f_{31}(t) = \lambda_{31} \cdot P_{31}(t) = 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,839 = 2,9365 \cdot 10^{-5};$$

$$f_{32}(t) = \lambda_{32} \cdot P_{32}(t) = 3,0 \cdot 10^{-5} \cdot 0,861 = 2,583 \cdot 10^{-5};$$

$$f_{33}(t) = \lambda_{33} \cdot P_{33}(t) = 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,869 = 2,4332 \cdot 10^{-5};$$

$$f_4(t) = \lambda_4 \cdot P_4(t) = 0,98 \cdot 10^{-5} \cdot 0,952 = 0,9330 \cdot 10^{-5}$$

Средняя наработка до отказа:

$$T_{cp} = 1/\lambda \text{ (ч)}$$

$$T_{cp \ 11} = 1/\lambda_{11} = 1/0,8 \cdot 10^{-5} = 1,25 \cdot 10^5; \quad T_{cp \ 12} = 1/\lambda_{12} = 1/0,9 \cdot 10^{-5} = 1,11 \cdot 10^5;$$

$$T_{cp \ 13} = 1/\lambda_{13} = 1/1,0 \cdot 10^{-5} = 1,0 \cdot 10^5; \quad T_{cp \ 21} = 1/\lambda_{21} = 1/2,0 \cdot 10^{-5} = 0,5 \cdot 10^5;$$

$$T_{cp \ 22} = 1/\lambda_{22} = 1/0,8 \cdot 10^{-5} = 1,25 \cdot 10^5; \quad T_{cp \ 23} = 1/\lambda_{23} = 1/1,8 \cdot 10^{-5} = 0,56 \cdot 10^5;$$

$$T_{cp \ 2} = 1/\lambda_2 = 1/3,0 \cdot 10^{-5} = 0,33 \cdot 10^5; \quad T_{cp \ 31} = 1/\lambda_{31} = 1/3,5 \cdot 10^{-5} = 0,29 \cdot 10^5;$$

$$T_{cp \ 32} = 1/\lambda_{32} = 1/3,0 \cdot 10^{-5} = 0,33 \cdot 10^5; \quad T_{cp \ 33} = 1/\lambda_{33} = 1/2,8 \cdot 10^{-5} = 0,36 \cdot 10^5;$$

$$T_{cp \ 4} = 1/\lambda_4 = 1/0,98 \cdot 10^{-5} = 1,02 \cdot 10^5$$

Определим вероятность безотказной работы всей схемы в целом. Для решения выделим блоки элементов и определим для них вероятности безотказной работы.

Совокупность элементов 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.3 составляет блок **A**, представляющий собой систему с общим резервированием. Для расчета вероятности безотказной работы блока **A** воспользуемся формулой (10):

$$P_A(t) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - \prod_{i=1}^n P_{ij}(t)),$$

где  $m=2$  – количество параллельных цепей в блоке **A**;

$n=3$  – количество последовательно соединенных элементов в каждой из параллельных цепей блока **A**;

$P_{ij}(t)$  – вероятность безотказной работы элементов блока **A**.

$$P_A(t) = 1 - (1 - 0,961 \cdot 0,956 \cdot 0,951) \cdot (1 - 0,905 \cdot 0,961 \cdot 0,913) = 0,974$$

Пусть элемент 2 составляет блок **B**. Тогда вероятность безотказной работы блока **B** есть вероятность безотказной работы элемента 2, т.е.

$$P_B(t) = P_2(t) = 0,861$$

Совокупность элементов 3.1, 3.2, 3.3 составляет блок **C**, представляющий собой систему параллельно соединенных элементов. Для расчета вероятности безотказной работы блока **C** воспользуемся формулой (8):

$$P_C(t) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_j(t)),$$

где  $m=3$  – количество параллельно соединенных элементов в системе;

$P_j(t)$  – вероятность безотказной работы элементов блока **C**.

$$P_C(t) = 1 - (1 - 0,839) \cdot (1 - 0,861) \cdot (1 - 0,869) = 0,997$$

Пусть элемент 4 составляет блок **D**. Тогда вероятность безотказной работы блока **D** есть вероятность безотказной работы элемента 4, т.е.

$$P_D(t) = P_4(t) = 0,952$$

Вероятность безотказной работы цепочки пускорегулирующей аппаратуры, состоящей из последовательно соединенных блоков **A**, **B**, **C**, определим по формуле (6):

$$P_{ABC}(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t),$$

где  $n=3$  – количество последовательно соединенных блоков цепочки;

$P_i(t)$  – вероятность безотказной работы блоков цепочки.

$$P_{ABC}(t) = P_A(t) \cdot P_B(t) \cdot P_C(t) = 0,974 \cdot 0,861 \cdot 0,997 = 0,836$$

Вероятность безотказной работы всей системы, состоящей из двух параллельных цепочек (первая цепочка состоит из блоков **A**, **B**, **C**, вторая цепочка состоит из блока **D**), определим по формуле (8):

$$P(t) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_j(t)),$$

где  $m=2$  – количество параллельно соединенных цепочек в системе;

$P_j(t)$  – вероятность безотказной работы цепочек.

$$P(t) = 1 - (1 - P_{ABC}(t)) \cdot (1 - P_D(t)) = 1 - (1 - 0,836) \cdot (1 - 0,952) = 0,992$$

Локальный электронный методический материал

Евдокимова Наталья Анатольевна

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Редактор И. Голубева

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л. 1,7. Печ. л. 1,4.

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»,  
236022, Калининград, Советский проспект, 1