

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению практических работ
по дисциплине «Техническое обеспечение телекоммуникационных систем»
для студентов направления подготовки
11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
Направленность (профиль)
«Интеллектуальная обработка данных в инфокоммуникационных
системах и сетях»

СОДЕРЖАНИЕ

- 1 Оценка качества телекоммуникационных услуг.
- 2 Расчет характеристик надежности радиоэлектронных систем при внезапных отказах.
- 3 Расчет эксплуатационной интенсивности отказов электронных компонентов (радиодеталей).
- 4 Анализ структурных схем надежности РЭС.
- 5 Расчет периодичности и продолжительности профилактических работ.
- 6 Решение задачи распознавания (классификации) методом Байеса.
- 7 Расчёт ремонтпригодности РЭС.
- 8 Документальное оформление мероприятий по планированию и учету эксплуатации техники связи.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

Тема: ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ

Время– 2 учебных часов.

Целевая установка практического занятия:

В ходе практического занятия студенты должны овладеть следующими умениями и навыками:

- оценивать и сравнивать качество предоставляемых услуг связи с нормативными показателями, контролировать качество предоставляемых услуг. (ПК-2);
- навыками контроля работоспособности оборудования; текущей эксплуатации и техническое обслуживание оборудования для поддержания показателей качества работы сети в пределах нормативных значений (ПК-2).

Учебно-материальное обеспечение:

- 1) Электронные лаборатории на IBM PC, из расчета 1 компьютер на 1 – 2 человека, оснащенные программами:
 - Microsoft Word для оформления отчетов по практическому занятию;
 - Mathcad Professional 15.0 для автоматизации математических расчетов.
- 2) Методическая разработка к практическому занятию по дисциплине Техническое обеспечение систем связи: [Электронный ресурс].

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

Краткие теоретические или справочно-информационные материалы

Методы оценки и основные показатели качества телекоммуникационных услуг в традиционных сетях

В настоящее время все крупные операторы создают системы менеджмента качества (СМК). Для обеспечения функционирования СМК необходимо определиться с оценкой качества телекоммуникационных услуг, разработать методологические подходы к формированию менеджмента качества, совершенствовать системы лицензирования и сертификации в части обеспечения качества обслуживания и качества услуг.

Например, для оценки качества телефонной связи применяются следующие методы:

- методы, основанные на определении параметров с использованием измерительных приборов;
- методы статистического выборочного контроля;
- социологические методы, основанные на результатах опроса.

Качество телефонной передачи может служить опыт работы сети ГТС во Франции (оператора France Telecom). Сбор данных по обслуживанию трафика ведется в течение 25 лет, причем последнее десятилетие он осуществляется круглосуточно в автоматизированном режиме. Контроль примерно 20 показателей качества позволяет судить об обслуживании трафика в режиме реального времени, надежности работы сети и собирать сведения, необходимые для маркетинга. Наряду с этим систематически проводятся телефонные опросы пользователей из делового и частного секторов. Число опросов достигает 1 миллиона в год. Их основная цель – выявить количество пользователей, неудовлетворенных качеством услуг, и причины их неудовлетворенности.

В РФ основное внимание уделяется характеристикам надежности:

- количеству заявлений абонентов в бюро ремонта и числу жалоб на работу ГТС;
- времени устранения повреждений, в том числе в установленный срок;
- числу неисправных пар в кабелях и негерметичных кабелей;
- числу аварий на линиях, станциях, узлах связи, в электропитании и т.п.

Для начала следует определиться, что же такое качество услуги. В рекомендации МСЭ E.800 дано следующее определение качества: «качество услуги - общий эффект рабочих характеристик службы, который определяет степень удовлетворенности пользователя этой службой».

Высокое качество услуг не возникает само собой, оно может быть достигнуто на основе интегрального подхода при создании системы связи, а также в процессе ее функционирования. В терминах проектирования и эксплуатации современных сетей телекоммуникаций Качество обслуживания (Quality of Service - QoS). Оно является предметом активных исследований и стандартизации на протяжении всей истории развития телекоммуникаций. Историю развития технологий обеспечения высокого качества услуг, можно условно распределить на три этапа:

- первый - традиционная оценка качества услуг;
- второй - гарантированное качество обслуживания;
- третий - соглашение о качестве обслуживания.

Основной характеристикой качества обслуживания вызовов является величина потеря в час наибольшей нагрузки (ЧНН). При этом рассматривается ЧНН, средний для 30 наиболее нагруженных дней года (Рекомендация МСЭ E.500). Нормируются предельно допустимые вероятности потерь из-за отсутствия каналов и ресурсов узлов коммутации (АТС) для связи внутри города - 0,03 и для междугородной связи - 0,1; доля вызовов, не закончившихся разговором из-за занятости абонентской линии - 0,2-0,3, из-за «неответа» вызываемого абонента - 0,12-0,15.

Время установления соединения определяется длительностью промежутка времени между моментом, когда вызывающий абонент за кончил набор номера, и моментом начала сигнала «контроль посылки вызова» или «занято». Для электронных АТС в пределах городской сети норма этого времени составляет <2 с.

Доступность услуги (сети) — это возможность получения услуг при определенных допусках и в определенных условиях (Рекомендация МСЭ E.800). Доступность учитывает как отказы оборудования, так и перегрузки сети и измеряется средней вероятностью отказа соединений:

$$P = \frac{Q_n}{N}, \quad (1)$$

где Q_n — число безуспешных попыток соединения, N — общее число попыток за некоторый промежуток времени.

Для сетей передачи данных, доступность измеряется в процентах и фактически отражает количество времени, когда абонент мог пользоваться услугой за определенный промежуток времени месяц, квартал, год. Определяется по формуле:

$$P = 100 - \frac{T_{сб} * 100}{T_{пер}}, \quad (2)$$

где P — доступность, $T_{сб}$ — продолжительность сбоя в предоставлении услуги, $T_{пер}$ — длительность периода.

Непрерывность соединения характеризуется вероятностью про падания речи длительностью менее 10 с. Рассматриваются только прерывания речи, возникшие в результате снижения уровня передачи, повышения уровня шумов, коэффициента ошибок или совокупности этих причин.

Показатель вероятности пропадания речи определяется как:

$$P_{ie} = \frac{1}{T} \sum_{i=t}^N TD_i, \quad (3)$$

где TD_i — длительности i -го прерывания из N -прерываний, T - период наблюдения.

P_{ie} подлежит определению, но считается, что он должен быть меньше 0,5%.

Оценочные измерения заключаются в сборе экспериментальных статистических данных при проведении измерений, имитирующих использование услуг абонентами, для последующей их постобработки для оценки фактических значений показателей качества услуг связи и сравнения полученных оценок между собой.

Для проведения измерений используется **метод контрольных вызовов (контрольных сессий)**. Контрольный вызов состоит в установлении соединения между, передаче информации в соответствии с типом установленного соединения и разъединения соединения. Контрольные вызовы для измерения всех показателей качества производятся при движении измерительного комплекса по заранее выбранному согласно требованиям настоящей методики маршруту.

При выполнении каждого контрольного вызова регистрируются события, характеризующие его успешность и значения параметров, которые используются для расчета значений показателей качества услуги связи.

Метод контрольных вызовов основан на имитации действий абонентов, поэтому обеспечение репрезентативности является ключевым фактором, обеспечивающим достоверность результатов оценочных измерений.

Репрезентативность оценок должна обеспечиваться при планировании оценочных измерений путем выбора:

- времени проведения измерения, максимально соответствующего суточному и сезонному профилю использованию услуг абонентами;
- зоны проведения измерения с учетом лицензионных условий и объявленной оператором зоны обслуживания;
- выбора маршрута движения с учетом важности локальных зон обслуживания абонентов.

Для целей использования результатов оценочных измерений для сравнения качества услуг связи, предоставляемых в сетях нескольких операторов связи и дальнейшей публикации сравнительной информации, на каждом маршруте измерения должны проводиться одновременно во всех сетях подвижной радиотелефонной связи, которые предоставляют услуги на данной территории.

Результатом измерений является совокупность log-файлов измерительных комплексов в формате, позволяющем осуществлять их пост-обработку и анализ доступными средствами.

Результаты измерений должны храниться в виде log-файлов во внутреннем формате измерительного комплекса на сервере-обработчике. По окончании оценочных измерений log-файл конвертируется в общедоступный формат (txt, csv и пр.) и вместе с log-файлами во внутреннем формате измерительного комплекса направляется в Минкомсвязь России.

Выполнение оценочных измерений должно производиться независимо в наложенных сетях связи стандартов GSV 900/1800, UMTS 900/1200 и LTE. Измерения должны производиться в рабочие дни в интервале с 8 до 22 часов по местному времени.

Интервал времени выполнения измерений должен быть не менее 8 часов в день.

Результаты, полученные при остановках измерительного комплекса на время более 10 минут, не учитываются.

При прерывании измерений в сети связи любого из операторов связи по причинам, связанным с работой измерительного комплекса (сбой в работе измерительного комплекса, необходимость проведения настроек оборудования и другие причины), измерения в сетях остальных операторов связи должно быть приостановлено до устранения причины, вызвавшей прерывание измерений.

Параметры качества услуги передачи данных измеряются в режиме, когда тестовый терминал находится в состоянии свободного выбора технологии радиодоступа (GSM или UMTS) в зависимости от радио условий (далее – режим dual mode) или/и в режиме, когда тестовый терминал принудительно выбирает технологию LTE, переход в остальные стандарты запрещен. Параметры качества услуги подвижной радиотелефонной связи измеряются в режиме dual mode.

Измерения и расчет показателей качества выполняются в соответствии с требованиями Технических спецификаций ETSI TS 102 250-1, TS 102 250-2, TS 120 250-5, TS 102 250-6, 3GPP TS 25.215 и ETSI TR 102 678.

Доля успешно доставленных сообщений – показатель который отражает количество успешных передач сообщений от одного мобильного абонентского терминала до другого мобильного абонентского терминала с учетом искаженных сообщений.

$$SMS_{E2EFR} = \frac{N - R}{N} * 100\%, \quad (4)$$

где N – общее количество отправленных SMS сообщений, R – количество недоставленных SMS сообщений.

Время доставки SMS сообщений отражает среднее время доставки короткого текстового сообщения от одного мобильного абонентского терминала до другого.

$$DT_{SMS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_{send} - t_{recieve}), \quad (5)$$

где N – общее количество недоставленных SMS сообщений, t_{send} – момент отправки SMS сообщения, $t_{recieve}$ – момент приема SMS сообщения, N – число успешно доставленных SMS сообщений.

Доля успешных соединений с сервером по протоколу TCP/IP и HTTP:

$$TCP = \frac{N - R}{N} * 100\%, \quad (6)$$

где N – общее количество попыток соединения с сервером, R – количество неуспешных соединений с сервером.

Среднее значение скорости передачи данных к абоненту определяется как суммарная величина скоростей передачи данных по протоколу HTTP от сервера передачи данных к приемному терминалу за время проведения тестовых измерений и усредненная относительно количества тестовых измерений.

$$V_{cp} = \frac{\sum_1^N V}{N} * 100\%, \quad (7)$$

где N – общее количество успешных передач данных, V – скорость передачи данных от сервера передачи данных к приемному терминалу

$$V = \frac{P}{t_{начала} - t_{завершения}}, \quad (8)$$

где P – размер текстового файла с данными, бит, $t_{начала}$ – время начала передачи файла, $t_{завершения}$ – время завершения передачи файла.

Перечень вопросов для проверки подготовленности к практическому занятию:

- 1) Методы оценки качества телефонной связи.
- 2) Основные характеристики качества обслуживания телефонной связи.
- 3) Расчет величины потерь вызовов в час наибольшей нагрузки.
- 4) Норма времени установления соединения для электронных АТС.
- 5) Расчет доступности услуги (сети) (Рекомендация МСЭ Е.800).
- 6) Расчет показателя вероятности пропадания речи.
- 7) Суть метода контрольных вызовов (контрольных сессий).
- 8) Расчет доли успешно доставленных сообщений и времени доставки SMS сообщений.
- 9) Расчет доли успешных соединений с сервером по протоколу TCP/IP и HTTP.
- 10) Среднее значение скорости передачи данных к абоненту.

Содержание практической работы в ходе занятия

Описание рабочего оборудования:

Электронные лаборатории на IBM PC, оснащенные программами:

- Microsoft Word для оформления отчетов по практическому занятию;
- Mathcad Professional 15.0 для автоматизации математических расчетов.

Требования безопасности при выполнении работы:

- К проведению практического занятия допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.
- Включение компьютеров осуществляется только с разрешения преподавателя.
- При проведении практического занятия не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.
- Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов рабочего оборудования (компьютеров).
- При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование (компьютер) от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.
- При возгорании оборудования (компьютера) его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.
- По окончании работы с оборудованием (компьютерами) его необходимо выключить установленным порядком.

Задание для работы по первому учебному вопросу:

Базового уровня:

- 1) Рассчитать оценку доступности телефонной сети, сети передачи данных и вероятность пропадания речи.
- 2) Рассчитать долю успешных доставленных и время доставки SMS сообщений, долю успешных соединений с сервером и среднюю скорость соединений по протоколам TCP/IP и HTTP.

Повышенного уровня:

- 3) Рассчитать объем потоков в локально вычислительной сети, построенной на технологии Ethernet. Построить топологию ЛВС.

Задание 1. Рассчитать оценку доступности телефонной сети, сети передачи данных и вероятность пропадания речи.

Исходные данные по вариантам представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для задания 1

Вариант	Число без- успешных по- пыток соеди- нения, Q_n	Общее число попы- ток соедине- ния, N	Время сбоя, $T_{сб}$	Время работы, Т	Длительность одного пре- рывания, TD_i	Количество прерываний, п
1	11	101	100	5 дней	10 сек.	5
2	12	102	110	6 дней	15 сек	7
3	13	103	120	7 дней	20 сек.	9
4	14	104	130	8 дней	25 сек.	11
5	15	105	140	9 дней	10 сек.	13
6	16	106	150	10 дней	15 сек	15
7	17	107	160	5 дней	20 сек.	5
8	18	108	170	6 дней	25 сек.	7
9	19	109	180	7 дней	10 сек.	9
10	20	110	190	8 дней	15 сек	11
11	21	111	200	9 дней	20 сек.	13

Вариант	Число без- успешных по- пыток соеди- нения, Q_n	Общее число попы- ток соедине- ния, N	Время сбоя, T_{cb}	Время работы, T	Длительность одного пре- рывания, TD_i	Количество прерываний, n
12	22	112	210	10 дней	25 сек.	15
13	23	113	220	5 дней	10 сек.	5
14	24	114	230	6 дней	15 сек.	7
15	25	115	240	7 дней	20 сек.	9
16	26	116	250	8 дней	25 сек.	11
17	27	117	260	9 дней	10 сек.	13
18	28	118	270	10 дней	15 сек.	15
19	29	119	280	5 дней	20 сек.	5
20	30	120	290	6 дней	25 сек.	7

Пример расчета.

$Q_n := 10$ Число безуспешных попыток соединения

$N := 100$ Общее число попыток соединения

$P_{отказа} := \frac{Q_n}{N} = 0.1$ Вероятность безуспешного соединения

Для расчета вероятности отказа сети передачи данных учитывается статистика за неделю.

$T_{cb} := 150$ мин Время сбоя

$T := 24 \cdot 7 \cdot 60$ мин Общее время работы

$P := 100 - \frac{T_{cb} \cdot 100}{T} = 98.512$ % Вероятность успешной передачи данных

Вероятность пропадания речи:

$TD := 15$ сек средняя длительность прерывания

$n := 10$ Количество прерываний

$i := 1..n$

$\Delta_i := \text{rnd}(2) - 1$ погрешность прерываний (функция RND)

$TD_i := TD + \Delta_i$ длительность i-го прерывания

$P_{ie} := \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^n TD_i = 0.015$ Вероятность пропадания речи

Задание 2. Рассчитать долю успешных доставленных и время доставки SMS сообщений, долю успешных соединений с сервером и среднюю скорость соединений по протоколам TCP/IP и HTTP.

Исходные данные по вариантам представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для задания 2

Вариант	Общее число отправленных SMS сообщений	Количество недоставленных сообщений	Время отправки сообщения (ч:м:с)	Время доставки сообщения (ч:м:с)	Общее количество попыток соединения с сервером	Количество неуспешных соединений с сервером	Объем информации, Мбит	Время передачи данных, с
1	150	10	11:00:10	11:00:20	10	1	0,5	30
2	160	15	11:10:00	11:10:12	20	3	0,7	35
3	170	20	12:15:35	12:15:48	30	5	0,9	40
4	180	25	12:17:15	12:17:29	40	7	1,1	45
5	190	30	10:01:55	10:02:05	50	9	1,3	50
6	200	35	17:35:00	17:35:16	60	11	1,5	55
7	210	40	16:25:45	16:26:01	70	13	1,7	60
8	220	45	21:00:59	21:01:16	80	15	1,9	65
9	230	50	18:45:45	18:46:03	90	17	2,1	70
10	240	55	9:11:00	9:11:19	100	19	2,3	75
11	250	60	11:00:15	11:00:25	15	2	2,5	80
12	260	65	11:10:33	11:10:54	20	4	2,7	85
13	270	70	12:15:19	12:15:41	25	6	2,9	90
14	280	75	12:17:13	12:17:36	30	8	3,1	100
15	290	80	10:01:12	10:01:34	35	10	3,3	110
16	300	85	17:35:56	17:36:21	40	12	3,5	120
17	310	90	16:25:45	16:26:11	45	14	3,7	130
18	320	95	21:00:59	21:01:26	50	16	3,9	140
19	330	100	18:45:45	18:46:13	55	18	4,1	150
20	340	105	9:11:00	9:11:29	60	20	4,3	160

Пример расчета.

$N = 100$ Общее число отправленных SMS сообщений

$R = 10$ Количество недоставленных сообщений

$SMS_{E2EFR} = \frac{N - R}{N} \cdot 100 = 90 \%$ Доля успешно доставленных сообщений

Абонент-1 отправил сообщение в 10:00:00 (ч:м:с), а абонент-2 получил сообщение в 10:00:15, отсюда следует что, $t_{send} - t_{recieve} = 15$ с.

$t = 15$ средняя длительность отправки сообщения

$i = 1..100$

$\Delta_i = \text{rnd}(4) - 2$ функция RND

$t_i = t + \Delta_i$ длительность отправки i-го сообщения

$DT_{sms} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_i = 15.024$ Среднее время доставки

Соединение с сервером по протоколам TCP/IP и HTTP:

$n := 90$ Общее число попыток соединения с сервером
 $R := 10$ Количество неуспешных соединений с сервером

$$TSP := \frac{n - R}{n} \cdot 100 = 88.889 \quad \% \quad \text{Доля успешных соединения с сервером}$$

На передачу 1 Мбита информации была потрачена 1 минута.

$N := 30$ количество тестовых испытаний

$$P := 1 \cdot 2^{20} = 1.049 \times 10^6 \text{ бит} \quad \text{Объем информации}$$

$t := 60$ с Время передачи данных

$$V := \frac{P}{t} = 17.476 \times 10^3 \text{ бит/с} \quad \text{расчетная скорость передачи данных}$$

$j := 1..N$

$$\Delta_j := \text{rnd}\left(\frac{V}{10}\right) - 4 \quad \text{функция RND}$$

$$V_j := V + \Delta_j \quad \text{скорость передачи данных при } j\text{-м испытании}$$

$$\sum_{j=1}^N V_j$$

$$V_{cp} := \frac{j=1}{N} = 18.373 \times 10^3 \quad \text{Средняя скорость передачи данных}$$

Задание 3. Рассчитать объем потоков в локально вычислительной сети, построенной на технологии Ethernet, построив топологию заданной ЛВС.

Исходные данные по вариантам представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для задания 3

Номер варианта	Число серверов	Число ПК			Коэффициент пульсаций (Р)	Интенсивность обмена (I)
		1 отдел	2 отдел	3 отдел		
1	3	3	4	5	40	0.1
2	3	4	5	6	45	0.2
3	4	3	4	6	50	0.3
4	4	4	4	5	55	0.4
5	4	4	5	6	60	0.5
6	5	3	5	5	65	0.1
7	5	4	4	6	70	0.2
8	6	3	4	5	75	0.3
9	6	4	4	6	80	0.4
10	6	4	5	5	85	0.5
11	6	3	5	6	90	0.1
12	5	6	4	3	95	0.2
13	5	6	5	5	100	0.3
14	4	5	5	3	105	0.4
15	4	5	4	5	110	0.5
16	4	3	3	6	115	0.1
17	3	5	5	6	120	0.2
18	3	3	6	4	125	0.3
19	5	3	6	5	130	0.4
20	5	6	4	5	135	0.5

Исходные данные:

Соединение PC-SWITCH – Fast Ethernet (максимальная скорость 100 Мбит/с). Соединения SWITCH_n-SWITCH, SWITCH-Сервер, SWITCH-ROUTER – Gigabit Ethernet (максимальная скорость 1 Гбит/с). Соединение ROUTER-Internet – 10 Gigabit Ethernet (максимальная скорость 10 Гбит/с).

Интенсивность среднесуточных обменов в направлении ПК-SWITCH, определяется по таблице 3.

Коэффициент пульсаций трафика (отношение пиковых потоков к среднесуточным) определяется по таблице 3.

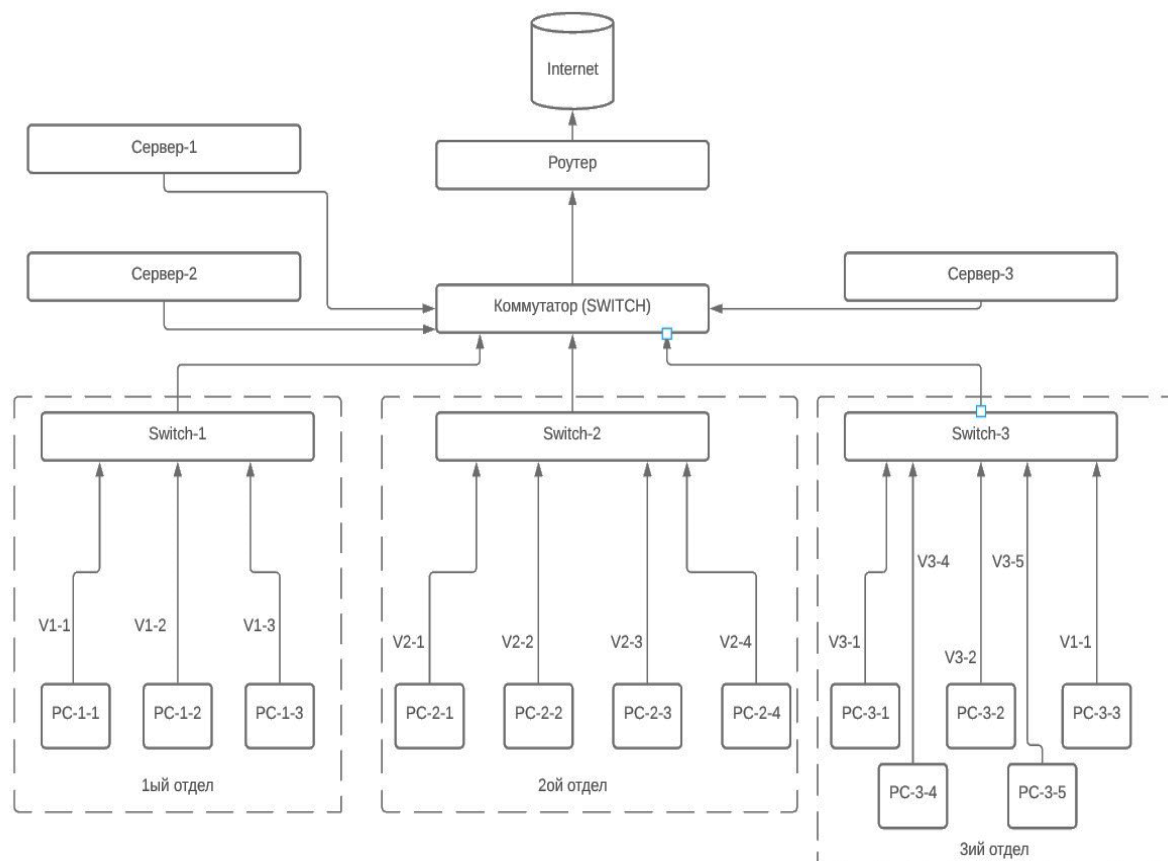


Рисунок 1 – Пример топологии сети

Рассчитать по формуле (9) значение объема передаваемого трафика от ПК за единицу времени и по формуле (10) в остальных ветвях ЛВС.

$$V = I * P, \quad (9)$$

$$V_{SUM} = \sum_{i=1}^N V_i, \quad (10)$$

где N – количество входящих потоков в устройство;

Пример расчета.

$P := 100$ Коэффициент пульсации

$I := 0.1$ Интенсивность

$V := P \cdot I = 10$ Объем данных за ед времени

$N_1 := 3$ Количество ПК подключенных к первому коммутатору

$N_2 := 4$ Количество ПК подключенных ко второму коммутатору

$N_3 := 5$ Количество ПК подключенных к третьему коммутатору

$N_4 := 3$ Количество серверов подключенных к главному коммутатору

$$\begin{aligned}
 i &:= 1..100 \\
 \Delta_i &:= \text{rnd}\left(\frac{V}{2}\right) - 1 \quad \text{Функция RND} \\
 V_i &:= V + \Delta_i \quad \text{Скорость передачи } i\text{-ого пакета данных} \\
 V_{sw1} &:= \sum_{i=1}^{N_1} V_i = 30.898 \quad \text{Скорость передачи от первого коммутатора к главному} \\
 V_{sw2} &:= \sum_{i=1}^{N_2} V_i = 41.65 \quad \text{Скорость передачи от второго коммутатора к главному} \\
 V_{sw3} &:= \sum_{i=1}^{N_3} V_i = 54.764 \quad \text{Скорость передачи от третьего коммутатора к главному} \\
 V_{server} &:= \sum_{i=1}^{N_4} V_i = 30.898 \quad \text{Скорость передачи от серверов к главному коммутатору} \\
 V_0 &:= V_{sw1} + V_{sw2} + V_{sw3} + V_{server} = 158.209 \quad \text{Скорость передаваемая в роутер и провайдеру}
 \end{aligned}$$

Результаты расчетов занести в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов

Вид трафика	Скорость передачи трафика (Мбит/с)				
	V_1	V_2	V_3	...	V_n
ПК- SWITCH _n	10	10			10
SWITCH _n -SWITCH	30.9	41.6	54.7	-	-
Сервер-SWITCH	30.9				
SWITCH-ROUTER	158.2				
ROUTER-Internet	158.2				

Заключение

Оформить результаты работы в виде отчета с выполненными практическими заданиями и представить его на проверку.

В отчете отобразить:

- тему и цель работы, расчетные задания;
- листинги составленных в Mathcad Professional программ;
- таблицы с результатами расчетов;
- выводы по результатам проделанной работы и выполнения заданий.

Практическое занятие разработано
доцентом кафедры инфокоммуникаций,
кандидатом технических наук, доцентом, профессором РАЕ

К.М. Сагдеевым

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

Тема: РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗАХ

Время– 2 учебных часа.

Целевая установка практического занятия:

В ходе практического занятия студенты должны овладеть следующими умениями и навыками:

- выполнять расчеты характеристик надежности РЭС действующего оборудования систем связи для контроль проектных параметров работы оборудования связи (ПК-6);
- применять рассчитанные характеристики и показатели для обоснования эксплуатационной надежности РЭС и прогнозирования оценки соответствия технических параметров РЭС установленным эксплуатационно-техническим нормам (ПК-7).

Учебно-материальное обеспечение:

- 1) Электронные лаборатории на IBM PC, из расчета 1 компьютер на 1 – 2 человека, оснащенные программами:
 - MicrosoftWord для оформления отчетов по практическому занятию;
 - Mathcad Professional 15.0 для автоматизации математических расчетов.
- 2) Методическая разработка к практическому занятию по дисциплине Техническое обеспечение систем связи: [Электронный ресурс].

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

Краткие теоретические или справочно-информационные материалы

Радиоэлектронные системы (РЭС) и комплектующие делятся на два класса:

- восстанавливаемые;
- невосстанавливаемые.

Имеются различия в показателях их безотказности.

Показатели безотказности для невосстанавливаемых изделий

Большие комплексы и РЭС относят к невосстанавливаемым. При анализе их надежности достаточно только показателей безотказности:

- вероятность безотказной работы;
- вероятность отказа;
- плотность распределения наработки до отказа (частота отказов);
- гамма-процентная наработка до первого отказа;
- интенсивность отказов;
- средняя наработка до первого отказа;
- средняя наработка на отказ;
- параметр потока отказов.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ – это вероятность того, что в заданном интервале времени $[0; t]$ или просто за время t изделие не откажет. Это вероятность того, что время до отказа будет не меньше t :

$$P(t) = P(\theta \geq t) \quad (1)$$

где θ – время отказа.

Функция $P(t)$ обладает следующими свойствами:

$$0 \leq P(t) \leq 1; P(0) = 1; P(\infty) = 0. \quad (2)$$

Зависимость $P(t)$ показана на рис. 1.1.

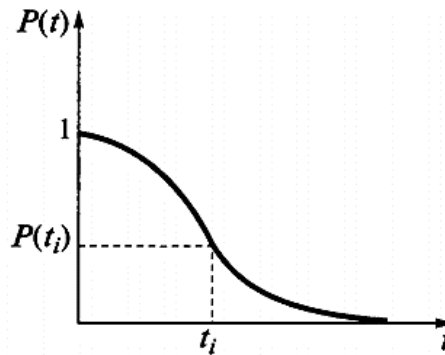


Рис. 1 – Изменение вероятности безотказной работы изделия во времени

Величину $P(t)$ можно определить статистически по результатам испытаний:

$$P(t) = \frac{N(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0} \quad (3)$$

где N_0 – общее число изделий, поставленных на испытание; N – число исправных изделий в момент времени t ; n – число отказавших устройств на интервале $[0; t]$.

Вероятность отказа $Q(t)$ – это вероятность того, что в заданном интервале $[0; t]$ изделие откажет.

Функция $Q(t)$ обладает следующими свойствами:

$$Q(t) = P(\theta < 1); P(t) + Q(t) = 1; Q(t) = \frac{n(t)}{N_0} \quad (4)$$

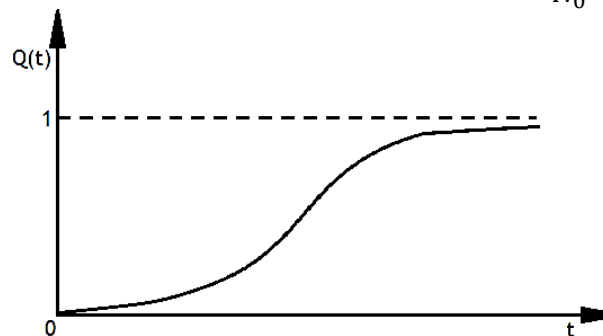


Рис. 2 – Изменение вероятности отказа работы изделия во времени

Плотность распределения наработки до отказа (частота отказа):

$$\varphi(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt} \quad (5)$$

Другими словами, $\varphi(t)$ – это скорость снижения безотказности.

Частота отказов по статистическим данным об отказах определяется выражением

$$\varphi(t) = \frac{\Delta n(t)}{N_0 dt} \quad (6)$$

где $\Delta n(t)$ – число отказавших изделий на участке времени $(t; t + \Delta t)$;

Гамма-процентная наработка до первого отказа T_γ – наработка, в течение которой отказ не возникает с вероятностью γ (измеряется в %)

$$\varphi(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt} \quad (7)$$

$$P(T_\gamma) = P_\gamma = \frac{N(T_\gamma)}{N_0} \quad (8)$$

где $N(T_\gamma)$ – количество изделий, исправных на момент T_γ ; N_0 – общее число изделий

Интенсивность отказа $\lambda(t)$ – это условная плотность вероятности отказа изделия в некоторый момент t наработки, с условием того, что отказов до этого момента t не было:

$$\lambda(t) = \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{1}{(1 - Q(t))} = \frac{\varphi(t)}{P(t)} \quad (9)$$

Статистически определяется как доля изделий, которая отказала в единицу времени после момента времени t , причем эта доля относится к числу изделий, исправных в момент времени t

$$\lambda(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N(t)\Delta t} = \frac{\Delta n}{N(t)\Delta t} \quad (10)$$

где n – количество отказавших изделий.

Коэффициент готовности K_r – вероятность того, что изделие окажется работоспособным в произвольный момент времени в течение времени работы:

$$K_r = \frac{T_o}{(T_o + T_b)} \quad (11)$$

где T_o - наработка на отказ.

Средняя наработка до первого отказа:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} t \cdot \varphi(t) dt \quad (12)$$

Конкретный вид функции $\varphi(t)$ определяется законом распределения случайной величины t :

$$T_{cp} = \sum_{i=0}^{N_0} \frac{t_i}{N_0} \quad (13)$$

Взаимосвязь между вероятностью безотказной работы $P(t)$ и интенсивностью отказов $\lambda(t)$:

$$P(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right] \quad (14)$$

Если $\lambda(t) = \text{const}$ для эксплуатационного периода, то

$$P(t) = \exp(-\lambda t) \quad (15)$$

Взаимосвязь между средней наработкой до первого отказа T_{cp} и интенсивностью отказов λ :

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (16)$$

Если $\lambda = \text{const}$, то $T_{cp} = \frac{1}{\lambda}$

Взаимосвязь между T_γ и средней наработкой до первого отказа T_{cp}

$$T_\gamma = -T_{cp} \ln\left(\frac{\gamma}{100}\right) \quad (17)$$

Эти формулы связи позволяют находить значения вероятности безотказной работы $P(t)$, интенсивности отказа $\lambda(t)$ и среднюю наработку на отказ T_{cp} , зная один из трех показателей.

Характеристики надежности радиоэлектронных систем при различных законах распределения времени до отказа

Формулы, по которым определяются количественные характеристики надежности изделия, имеют вид:

$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right) = 1 - \int_0^t \varphi(t) dt \quad (18)$$

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (19)$$

$$\varphi(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt} \quad (20)$$

$$\lambda(t) = \frac{\varphi(t)}{P(t)} \quad (21)$$

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (22)$$

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 ; $\phi(t)$ – частота отказов изделия или плотность вероятности времени безотказной работы изделия $T_{ср}$; $\lambda(t)$ – интенсивность отказов изделия; $T_{ср}$ – среднее время безотказной работы изделия.

Формулы для экспоненциального закона распределения времени безотказной работы изделия примут вид:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (23)$$

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (24)$$

$$\phi(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (25)$$

$$\lambda(t) = \frac{\lambda \cdot e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} \quad (26)$$

$$T_{ср} = \frac{1}{\lambda} \quad (27)$$

Формулы для нормального закона распределения времени безотказной работы изделия примут вид:

$$P(t) = 0,5 - \Phi(U); U = \frac{t - T_{ср}}{\sigma_t} \quad (28)$$

$$Q(t) = 0,5 + \Phi(U); \Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^U e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (29)$$

$$\phi(t) = \frac{\Phi(U)}{\sigma_t}; \Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} \quad (30)$$

$$\lambda(t) = \frac{\Phi(U)}{\sigma(t)} \cdot \frac{1}{0,5 - \Phi(U)}; \Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} \quad (31)$$

где $\Phi(U)$ – функция Лапласа, обладающая свойствами:

$$\Phi(U) = 0 \quad (32)$$

$$\Phi(-U) = -\Phi(-U) \quad (33)$$

$$\Phi(\infty) = 0,5 \quad (34)$$

Здесь $T_{ср}$ – среднее значение случайной величины; t – дисперсия случайной величины T ; $T_{ср}$ – время безотказной работы изделия.

Формулы для закона распределения Релея времени безотказной работы изделия имеют вид:

$$P(t) = \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_t^2}\right) \quad (35)$$

$$Q(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_t^2}\right) \quad (36)$$

$$\phi(t) = \frac{t^2}{\sigma_t^2} \cdot \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_t^2}\right) \quad (37)$$

$$\lambda(t) = \frac{t}{\sigma_t^2} \quad (38)$$

$$T_{ср} = \sigma_t \sqrt{\frac{\pi}{2}} \quad (39)$$

где σ_t – дисперсия времени безотказной работы изделия; $T_{ср}$ – время безотказной работы изделия.

Перечень вопросов для проверки подготовленности к практическому занятию:

- 1) Показатели безотказности для невосстанавливаемых изделий.
- 2) Расчет коэффициента готовности.
- 3) Расчет вероятности безотказной работы.
- 4) Расчет вероятности отказа.
- 5) Расчет плотности распределения наработки до отказа.
- 6) Интенсивность отказов.

- 7) Законы распределения времени до отказа.
- 8) Расчет функции Лапласа.
- 9) Формулы расчета характеристик надежности РЭС, отказы которых распределены по экспоненциальному закону.
- 10) Формулы расчета характеристик надежности РЭС, отказы которых распределены по нормальному закону.
- 11) Формулы расчета характеристик надежности РЭС, отказы которых распределены по закону Релея.

Содержание практической работы в ходе занятия

Описание рабочего оборудования:

Электронные лаборатории на IBM PC, оснащенные программами:

- MicrosoftWord для оформления отчетов по практическому занятию;
- Mathcad Professional 15.0 для автоматизации математических расчетов.

Требования безопасности при выполнении работы:

- К проведению практического занятия допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.
- Включение компьютеров осуществляется только с разрешения преподавателя.
- При проведении практического занятия не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.
- Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов рабочего оборудования (компьютеров).
- При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование (компьютер) от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.
- При возгорании оборудования (компьютера) его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.
- По окончании работы с оборудованием (компьютерами) его необходимо выключить установленным порядком.

Задание для работы по первому учебному вопросу:

Базового уровня:

- 1) Определить среднее время восстановления аппаратуры T_v и коэффициент готовности K_g .
- 2) Определить вероятности безотказной работы $P(t)$, отказа $Q(t)$ при t , статистическую оценку частоты и интенсивности отказов в промежутке времени t_1 - t_2 .
- 3) Вычислить количественные характеристики надежности изделия $P(t)$, $\varphi(t)$, $\lambda(t)$, $T_{ср}$, $Q(t)$ для t , если параметр распределения σt .

Повышенного уровня:

- 4) Вычислить количественные характеристики надежности $P(t)$, $\varphi(t)$, $\lambda(t)$, для t .

Задачи повышенного уровня выполняются самостоятельно. Безошибочное решение всех задач базового и повышенного уровней оценивается оценкой отлично. При безошибочном решении всех задач базового уровня выставляется оценка хорошо. При наличии существенной ошибки оценка снижается на 1 балл.

Порядок выполнения заданий

Задание 1. За наблюдаемый период эксплуатации аппаратура имела среднюю наработку на отказ равную T_0 , а также было зафиксировано 5 отказов. Время восстановления составило: t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 . Требуется определить среднее время восстановления аппаратуры T_v и коэффициент готовности K_g .

Исходные данные по вариантам представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для задания 1

Вариант	Среднюю наработку на отказ, T_o	t_1 , ч	t_2 , ч	t_3 , ч	t_4 , ч	t_5 , ч
1	35	31	23	29	10	11
2	50	17	49	2	45	1
3	55	18	23	15	45	41
4	60	25	45	16	8	12
5	65	5	24	15	23	53
6	70	65	9	56	61	62
7	75	11	5	46	25	10
8	80	64	1	23	32	72
9	85	7	32	56	78	44
10	90	73	58	18	82	22
11	95	46	65	95	74	70
12	100	61	50	23	40	95
13	105	31	37	79	21	78
14	110	40	27	106	5	99
15	115	5	76	51	68	88
16	120	20	40	87	46	81
17	125	69	89	66	84	26
18	130	87	20	99	87	14
19	135	30	26	16	73	58
20	140	13	17	21	53	78

Пример расчета.

Исходные данные:

$n := 5$ количество отказов

$T_o := 45$ ч средняя наработка на отказ

$t_1 := 12$ ч

$t_2 := 23$ ч время восстановления

$t_3 := 15$ ч

$t_4 := 9$ ч

$t_5 := 17$ ч

Воспользовавшись формулами (11), (12) для T_v , K_r , получаем результаты:

$$T_v := \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{n} = 15.2 \text{ ч} \quad \text{среднее время восстановления}$$

$$K_r := \frac{T_o}{T_o + T_v} = 0.748 \quad \text{коэффициент готовности}$$

Задание 2. На испытание поставлено N однотипных электронных компонентов, за t часов отказало n компонентов, а за интервал времени t_1 - t_2 ч. отказало еще $\Delta n(t)$ единиц. Требуется определить вероятности безотказной работы $P(t)$, отказа $Q(t)$ при t , статистическую оценку частоты и интенсивности отказов в промежутке времени t_1 - t_2 .

Исходные данные по вариантам представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для задания 2

Вариант	Кол-во элементов на испытании, N	Кол-во отказавших элементов, N	Время отказа, t	Интервал времени, t1-t2	Кол-во отказавших элементов за интервал времени, $\Delta n(t)$
1	950	10	1000	1000-1100	20
2	1050	20	1100	1100-1350	54
3	370	14	1340	1340-1450	23
4	543	34	1425	1425-1570	44
5	574	45	2340	2340-2545	32
6	687	43	754	745-1200	75
7	1235	64	543	543-679	45
8	865	65	867	867-1245	67
9	456	82	1256	1256-1489	42
10	100	34	4560	4560-4765	74
11	105	28	1346	1346-1460	45
12	110	73	368	368-784	90
13	115	254	1500	1500-1670	150
14	120	46	1360	1360-1790	80
15	125	73	1690	1690-1930	38
16	130	345	1500	1500-1790	67
17	135	245	3000	3000-3570	35
18	140	45	1250	1250-1790	65
19	145	67	1300	1300-1490	36
20	150	543	2000	2000-2650	126

Пример расчета.

Исходные данные:

$$N_0 := 1000$$

N0 := 1000 количество элементов на испытании

$$n := 80$$

n := 80 количество отказавших элементов

$$N(t) := N - n$$

N(t) := N - n количество рабочих элементов при t

$$t := 3000 \text{ ч}$$

t := 3000 ч время отказа

$$t1 := 3000 \text{ ч}$$

t1 := 3000 ч начальный промежуток времени

$$t2 := 4000 \text{ ч}$$

t2 := 4000 ч конечный промежуток времени

$$\Delta t := t2 - t1$$

 $\Delta t := t2 - t1$ интервал времени

$$\Delta n(t) := 50$$

 $\Delta n(t) := 50$ количество отказавших элементов за интервал времени Δt

По формулам (3), (4), (5) и (9) находим:

$$P := \frac{N(t)}{N_0} = 0.92$$

P := $\frac{N(t)}{N_0}$ = 0.92 вероятность безотказной работы

$$Q := \frac{N_0 - N(t)}{N_0} = 0.08$$

Q := $\frac{N_0 - N(t)}{N_0}$ = 0.08 вероятность отказа

$$\varphi := \frac{\Delta n(t1)}{N_0 \cdot \Delta t} = 5 \times 10^{-5}$$

 $\varphi := \frac{\Delta n(t1)}{N_0 \cdot \Delta t}$ = 5×10^{-5} статистическая оценка частоты

$$\lambda := \frac{\Delta n(t)}{\Delta t \cdot N(t)} = 5.435 \times 10^{-5}$$

 $\lambda := \frac{\Delta n(t)}{\Delta t \cdot N(t)}$ = 5.435×10^{-5} интенсивность отказов

Задание 3. Время работы изделия до отказа подчиняется закону распределения Релея. Требуется вычислить количественные характеристики надежности изделия $P(t)$, $\varphi(t)$, $\lambda(t)$, $T_{ср}$, $Q(t)$ для t, если параметр распределения σt .

Исходные данные по вариантам представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для задания 3

Вариант	Время работы, t	Параметр распределения, σt
1	3000	1000
2	4500	1500
3	3700	1200
4	7000	2500
5	10000	3000
6	8500	2500
7	9000	2000
8	11000	3500
9	12000	4000
10	13000	3500
11	14000	4000
12	15000	4500
13	16000	5000
14	17000	5500
15	18000	6000
16	19000	6500
17	20000	7000
18	21000	7500
19	22000	8000
20	23000	8500

Пример расчета.

Исходные данные:

$t := 1000$ ч время работы

$\sigma t := 1000$ ч параметр распределения

Воспользоваться формулами (35), (36), (37), (38) для расчета $P(t)$, $\varphi(t)$, $\lambda(t)$, $T_{ср}$, $Q(t)$

$$P(t) := e^{\left[\frac{-t^2}{2 \cdot (\sigma t)^2} \right]} \quad \text{вероятность безотказной работы}$$

$$\varphi(t) := \frac{t \cdot P(t)}{\sigma t^2} \quad \text{частота отказа}$$

$$\lambda(t) := \frac{t}{\sigma t^2} \quad \text{интенсивность отказа}$$

$$T_{ср} := \sigma t \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}} \quad \text{среднее время безотказной работы}$$

$$Q(t) := 1 - e^{\left(\frac{-t^2}{2 \cdot \sigma t^2} \right)} \quad \text{вероятность отказа}$$

$$T_{ср} = 1.253 \times 10^3$$

$$P(t) = 0.607$$

$$\varphi(t) = 6.065 \times 10^{-4}$$

$$Q(t) = 0.393$$

Задание 4. Время работы элемента до отказа подчинено нормальному закону с параметрами $T_{ср}$, σt . Требуется вычислить количественные характеристики надежности $P(t)$, $\varphi(t)$, $\lambda(t)$, для t (**повышенный уровень**).

Исходные данные по вариантам представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные для задания 4

Вариант	Среднее время безотказной работы, $T_{\text{ср}}$	Параметр распределения, σ_t	Время работы, t
1	2000	1000	3000
2	3000	1500	4500
3	2500	1200	3700
4	3500	2500	7000
5	4000	3000	10000
6	4500	2500	8500
7	5000	2000	9000
8	5500	3500	11000
9	6000	4000	12000
10	6500	3500	13000
11	7000	4000	14000
12	7500	4500	15000
13	8000	5000	16000
14	8500	5500	17000
15	9000	6000	18000
16	9500	6500	19000
17	10000	7000	20000
18	10500	7500	21000
19	11000	8000	22000
20	11500	8500	23000

Пример расчета.

Исходные данные:

$T_{\text{ср}} := 8000$ ч среднее время безотказной работы элементов

$\sigma_t := 2000$ ч параметр распределения

$t := 10000$ ч время работы

По формуле (29) рассчитывается функция Лапласа

$$U := \frac{t - T_{\text{ср}}}{\sigma_t} = 1 \quad \text{значение функции Лапласа}$$

$$\Phi(U) := \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^U e^{-\frac{U^2}{2}} dU \quad \text{расчет функции Лапласа}$$

$$\Phi(U) = 0.341$$

Воспользоваться формулами (28), (29), (30), (31) для расчета $P(t)$, $\varphi(t)$, $\lambda(t)$, $T_{\text{ср}}$

$P(t) := 0.5 - \Phi(U)$ расчет вероятности безотказной работы

$$\varphi(U) := \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{U^2}{2}}$$

$\varphi(t) := \frac{\varphi(U)}{\sigma t}$ расчет частоты отказа

$\lambda(t) := \frac{\varphi(t)}{P(t)}$ расчет интенсивности отказов

$P(t) = 0.159$ вероятность безотказной работы

$\varphi(t) = 1.21 \times 10^{-4}$ частота отказа

$\lambda(t) = 7.626 \times 10^{-4}$ интенсивность отказа

Заключение

Оформить результаты работы в виде отчета с выполненными практическими заданиями и представить его на проверку.

В отчете отобразить:

- тему и цель работы, расчетные задания;
- листинги составленных в Mathcad Professional программ;
- таблицы с результатами расчетов;
- выводы по результатам проделанной работы и выполнения заданий.

**Практическое занятие разработано
доцентом кафедры инфокоммуникаций,
кандидатом технических наук, доцентом, профессором РАЕ
К.М. Сагдеевым**

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Тема №3: РАСЧЕТ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ (ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ)

Время– 4 учебных часа.

Целевая установка практического занятия:

В ходе практического занятия студенты должны овладеть следующими умениями и навыками:

- выполнять расчеты характеристик надежности РЭС действующего оборудования систем связи для контроль проектных параметров работы оборудования связи (ПК-6);
- применять рассчитанные характеристики и показатели для обоснования эксплуатационной надежности РЭС и прогнозирования оценки соответствия технических параметров РЭС установленным эксплуатационно-техническим нормам (ПК-7).

Учебно-материальное обеспечение:

- 1) Электронные лаборатории на IBM PC, из расчета 1 компьютер на 1 – 2 человека, оснащенные программами:
 - MicrosoftWord для оформления отчетов по практическому занятию;
 - Mathcad Professional 15.0 для автоматизации математических расчетов.
- 2) Методическая разработка к практическому занятию по дисциплине Техническое обеспечение систем связи: [Электронный ресурс].

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

Краткие теоретические или справочно-информационные материалы

Общая характеристика моделей

Значения эксплуатационной интенсивности отказов λ_{Σ} большинства групп элементов (компонентов) рассчитываются по математической модели:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\Sigma} \prod_{i=1}^m K_i, \quad (1)$$

где λ_{Σ} – базовая интенсивность отказов элементов данной группы; K_i – коэффициенты, учитывающие изменения эксплуатационной интенсивности отказов в зависимости от различных факторов; m – число учитываемых факторов.

Для отдельных групп сложных электрорадиоизделий (ЭРИ), суммарный поток отказов которых складывается из независимых потоков отказов составных частей ЭРИ (например, электромагнитной катушки и контактной системы реле), математическая модель расчёта эксплуатационной интенсивности отказов имеет вид

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\Sigma 1} \prod_{i=1}^{m_1} K_i^{(1)} + \dots + \lambda_{\Sigma n} \prod_{i=1}^{m_n} K_i^{(n)}, \quad (2)$$

где $\lambda_{\Sigma j}$ – исходная (базовая) интенсивность отказов j -й части изделия, $j = 1, \dots, n$; n – количество составных частей изделия; $K_i^{(j)}$ – коэффициент, учитывающий влияние i -го фактора для j -й части изделия; $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$; m_j – количество факторов, учитываемых для j -й части изделия.

Индивидуальные (для компонентов) составляющие интенсивности отказов λ_{Σ} , называемые базовыми интенсивностями отказов, могут быть взяты из справочников или подсчитаны по моделям, приводимым в Приложениях методической разработки.

Рассмотрим примеры.

Значения коэффициента K_i , зависящего от температуры корпуса интегральной микросхемы (ИМС), могут быть получены по выражению

$$K_t = \exp[B(t_{\text{окр}} - 25)], \quad (3)$$

где B – константа, зависящая от функционального назначения ИМС (см. табл. 14 из Приложения Б); $t_{\text{окр}}$ – температура среды, окружающей ИМС, °С.

Значения коэффициента режима работы K_P трансформатора рассчитывают по модели:

$$K_P = A \exp \left[\left(\frac{t_M + 273}{T_M} \right)^G \right], \quad (4)$$

где t_M – температура максимально нагретой точки обмотки трансформатора, характеризуется классом изоляции; A , G , T_M – постоянные модели/

Коэффициент электрической нагрузки элементов

Реальный уровень безотказности элементов зависит от коэффициентов их электрической нагрузки, определяемых отношением:

$$K_H = \frac{F_{\text{раб}}}{F_{\text{ном}}}, \quad (5)$$

Вероятность безотказной работы РЭСР_Σ (t_3) за заданное время t_3 находят, используя выражение

$$P_{\Sigma}(t_3) = e^{-\lambda_1 t_3} \cdot e^{-\lambda_2 t_3} \cdot \dots \cdot e^{-\lambda_N t_3} = e^{-t_3 \sum_{i=1}^N \lambda_i}, \quad (6)$$

Суммарную интенсивность отказов РЭС с учётом электрического режима и условий эксплуатации $\Lambda_{\text{РЭУ}}$ определяют, как

$$\Lambda_{\text{РЭУ}} = K_{\text{Э.ОБ}} \cdot \sum_{j=1}^k \lambda_{0j} n_j, \quad (7)$$

При уточнённом расчёте суммарную интенсивность отказов РЭС в виде электронного модуля (печатного узла) Λ_M определяют суммированием прогнозных значений эксплуатационных интенсивностей отказов элементов $\lambda_{\text{Э}}$:

$$\Lambda_M = \sum_{i=1}^N \lambda_{\text{Э}i}, \quad (8)$$

Общая характеристика моделей

$$\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{\text{Б}} \prod_{i=1}^m K_i, \quad (9)$$

Математическая модель расчёта эксплуатационной интенсивности отказов имеет вид

$$\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{\text{Б1}} \prod_{i=1}^{m_1} K_i^{(1)} + \dots + \lambda_{\text{Бn}} \prod_{i=1}^{m_n} K_i^{(n)}, \quad (10)$$

где $\lambda_{\text{Бj}}$ – исходная (базовая) интенсивность отказов j -й части изделия, $j = 1, \dots, n$; n – количество составных частей изделия; $K_i^{(j)}$ – коэффициент, учитывающий влияние i -го фактора для j -й части изделия; $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$; m_j – количество факторов, учитываемых для i -й части изделия.

Для определения коэффициента $K_{\text{ИС}}$, учитывающего количество элементов в ИМС или бит (для ИМС памяти), можно воспользоваться математической моделью:

$$K_{\text{ИС}} = AN^S, \quad (11)$$

где A , S – постоянные коэффициенты модели; N – количество элементов в ИМС или бит.

Значения коэффициента K_t , зависящего от температуры корпуса, могут быть получены по выражению

$$K_t = \exp[B(t_{\text{окр}} - 25)], \quad (12)$$

где A , S – постоянные коэффициенты модели (см. табл. 3 из Приложения А); N – количество элементов в ИМС или бит.

Интегральные микросхемы

Для ИМС, работа которых допускается в облегчённых электрических режимах, значения коэффициента режима работы K_P могут быть рассчитаны с помощью математической модели:

$$K_P = 0,045 \exp(3,1 K_{\text{обл}}) \exp[B(t_{\text{окр}} - 25)], \quad (13)$$

Полупроводниковые приборы

Значения коэффициента режима работы K_P могут быть рассчитаны с помощью математической модели:

$$K_P = A \exp \left[\frac{N_T}{273 + t_{\text{окр}} + \Delta t K_H} + \left(\frac{273 + t_{\text{окр}} + \Delta t K_H}{T_M} \right)^L \right], \quad (14)$$

где A , N_T , T_M , L , Δt – константы модели; $t_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды; K_H – коэффициент электрической нагрузки.

Конденсаторы

Значения коэффициента режима K_P могут быть рассчитаны с помощью математической модели:

$$K_P = A \left[\left(\frac{K_H}{N_S} \right)^H + 1 \right] \exp \left[B \left(\frac{t_{\text{окр}} + 273}{N_T} \right)^G \right], \quad (15)$$

где $t_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды (корпуса элемента), °С; K_H – коэффициент электрической нагрузки конденсатора по напряжению; A , B , N_T , G , N_S , H – постоянные коэффициенты.

Резисторы

Значения коэффициента режима K_P рассчитывают по модели:

$$K_P = A \exp \left[B \left(\frac{t_{\text{окр}} + 273}{N_T} \right)^G \right] \exp \left\{ \left[\left(\frac{K_H}{N_S} \right) \left(\frac{t_{\text{окр}} + 273}{273} \right)^J \right]^H \right\}, \quad (16)$$

где K_H – коэффициент электрической нагрузки резистора по мощности; $t_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды (корпуса элемента), °С; A , B , N_T , G , N_S , J , H – постоянные коэффициенты/

Контрольные вопросы для подготовки к занятию:

- 1) Интенсивность отказов как основная характеристика безотказности элементов. Размерность интенсивности отказов.
- 2) Базовые интенсивности отказов групп элементов и компонентов РЭС.
- 3) Коэффициент электрической нагрузки элементов. Электрические характеристики, используемые для его определения.
- 4) Математическая модель для расчёта (прогнозирования) эксплуатационной интенсивности отказов типовых электрорадиоэлементов РЭС.
- 5) Факторы, влияющие на эксплуатационной интенсивности отказов.

Содержание практической работы в ходе занятия

Описание рабочего оборудования:

Электронные лаборатории на IBM PC, оснащенные программами:

- MicrosoftWord для оформления отчетов по практическому занятию;

– Mathcad Professional 15.0 для автоматизации математических расчетов.

Требования безопасности при выполнении работы:

- К проведению практического занятия допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.
- Включение компьютеров осуществляется только с разрешения преподавателя.
- При проведении практического занятия не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.
- Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов рабочего оборудования (компьютеров).
- При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование (компьютер) от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.
- При возгорании оборудования (компьютера) его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.
- По окончании работы с оборудованием (компьютерами) его необходимо выключить установленным порядком.

Задание для работы:

Базового уровня:

- 1) Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа интегральной микросхемы в пластмассовом корпусе при заданных исходных данных.
- 2) Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа биполярного транзистора большой мощности при заданных исходных данных.
- 3) Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа СВЧ диода при заданных исходных данных.

Повышенного уровня:

- 4) Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа слюдяного конденсатора при заданных исходных данных.
- 5) Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа непроволочного переменного резистора при заданных исходных данных.

Порядок выполнения заданий

Задание 1. *Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа интегральной микросхемы в пластмассовом корпусе при заданных исходных данных.*

Исходные данные по вариантам представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для задания 1

Вариант	Кол-во элементов в ИМС (N)	Темп. среды окр ИМС(токр)	Тип ИМС
1	15	23	Полупр. Цифровые
2	19	24	ОЗУ
3	16	25	ПЗУ
4	17	26	ППЗУ
5	13	27	РПЗУ
6	26	28	Полупр. Цифровые
7	28	29	ОЗУ
8	14	30	ПЗУ
9	18	31	ППЗУ
10	22	32	РПЗУ
11	29	33	Полупр. Цифровые
12	12	34	ОЗУ
13	27	35	ПЗУ
14	30	36	ППЗУ

15	25	37	РПЗУ
16	32	38	Полупр. Цифровые
17	22	39	ОЗУ
18	33	40	ПЗУ
19	24	41	ППЗУ
20	31	42	РПЗУ

Порядок расчета:

1.1) Ввести исходные данные для вычислений:

- заданные в табл.1 количество элементов в ИМС (N) и температуру окружающей среды ИМС ($t_{\text{окр}}$);
- базовая интенсивность отказов элементов данной группы, λ_b (см. табл.13 из Приложения Б);
- параметры, входящие для расчета коэффициента, зависящего от температуры корпуса элемента (компонента), K_t (см. табл. 3 из Приложения А);
- параметры, входящие для расчета коэффициента, учитывающего количество элементов ИМС, $K_{\text{ис}}$ (см. табл. 3 из Приложения А);
- коэффициент, учитывающий тип корпуса, $K_{\text{корп}}$ (см. табл. 4 из Приложения А);
- коэффициент, учитывающий напряжение питания для КМОП ИМС, K_v (см. табл.5 из Приложения А);
- коэффициент эксплуатации, зависящий от жесткости условий эксплуатации, $K_{\text{э}}$, относящийся к группе $З_{\text{чр}}$ (см. табл. 10 и 11 из Приложения Б);
- коэффициент военной приемки, учитывающий степень жесткости требований контролю качества и правилам приемки элементов (компонентов РЭС) в условиях производства, $K_{\text{п}}$ (см. табл. 15 из Приложения Б).

1.2) Составить в среде Mathcad Professional математическую модель расчёта эксплуатационной интенсивности отказов интегральной микросхемы по формуле:

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_b \cdot K_t \cdot K_{\text{ис}} \cdot K_{\text{корп}} \cdot K_v \cdot K_{\text{э}} \cdot K_{\text{п}},$$

предварительно введя формулы для расчета коэффициента K_t , зависящего от температуры корпуса ИМС, и коэффициента $K_{\text{ис}}$, учитывающего количество элементов в ИМС, т.е.

$$K_t = \exp[B(t_{\text{окр}} - 25)], \text{ и } K_{\text{ис}} = AN^s.$$

1.3) Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа интегральной микросхемы при заданных исходных данных, занести в отчет по работе листинг программы расчетов с полученным результатом.

1.4) Сравнить полученную эксплуатационную интенсивность отказов с базовой интенсивностью отказов, объяснить полученный результат.

Пример расчета в Mathcad Professional:

$\lambda_6 := 0.023 \cdot 10^{-6}$ интенсивность отказов
 $A := 0.336$ постоянные коэффициенты
 $S := 0.288$
 $N := 20$ количество элементов в ИМС
 $B := 0.021$
 $t_{окр} := 26$ температура среды окружающей ИМС
 $K_{корп} := 3$ коэффициент указывающий тип корпуса
 $K_v := 1$ коэффициент учитывающий напряжение питания
 $K_э := 1.2$ коэффициент эксплуатации
 $K_{п} := 1$ коэффициент приемки
 $K_t := \exp[B \cdot (t_{окр} - 25)] = 1.021$ коэффициент зависящий от температуры корпуса
 $K_{ис} := A \cdot N^S = 0.796$ коэффициент учитывающий количество элементов в ИМС
 $\lambda_э := \lambda_6 \cdot K_t \cdot K_{ис} \cdot K_{корп} \cdot K_v \cdot K_э \cdot K_{п} = 67.327 \times 10^{-9}$ интенсивность отказа

Задание 2. Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа биполярного транзистора большой мощности при заданных исходных данных.

Исходные данные по вариантам представлены в таблице 2.

Таблица 2. Исходные данные для задания 2

Вариант	Темп. окр. среды (токр)	Функциональный режим работы (Кф)	Вариант	Темп. окр. среды (токр)	Функциональный режим работы (Кф)
1	25	Линейный	11	35	Линейный
2	26	Переключающий	12	34	Переключающий
3	27	Линейный	13	33	Линейный
4	28	Переключающий	14	32	Переключающий
5	29	Линейный	15	31	Линейный
6	30	Переключающий	16	30	Переключающий
7	31	Линейный	17	29	Линейный
8	32	Переключающий	18	28	Переключающий
9	34	Линейный	19	27	Линейный
10	35	Переключающий	20	26	Переключающий

Порядок расчета:

2.1) Ввести исходные данные для вычислений:

- заданную в табл.2 температуру окружающей среды транзистора ($t_{окр}$);
- базовая интенсивность отказов элементов данной группы, λ_6 (см. табл.13 из Приложения Б);
- оптимальное значение коэффициента нагрузки $K_H = 0.6$;
- параметры, входящие для расчета коэффициента режима работы, K_P (см. табл. 6 Приложения А);
- коэффициент влияния функционального режима работы, K_F (см. табл.7 из Приложения А) с учетом заданного в табл. 2 функционального режима работы;

- коэффициент, зависящий от значения максимально допустимой по ТУ нагрузки мощности (или току), K_d (см. табл.8 из Приложения Б);
- параметры, входящие для расчета коэффициента, зависящего от отношения рабочего напряжения на транзисторе к максимальному допустимому напряжению, K_U (см. табл.9 из Приложения Б);
- коэффициент эксплуатации, зависящий от жесткости условий эксплуатации, K_{Σ} , относящийся к группе Зчр (см. табл. 10 и 11 из Приложения Б);
- коэффициент военной приемки, учитывающий степень жесткости требований контролю качества и правилам приемки элементов (компонентов РЭС) в условиях производства, K_{Π} (см. табл. 15 из Приложения Б).

2.2) Составить в среде Mathcad Professional математическую модель расчёта эксплуатационной интенсивности отказов биполярного транзистора по формуле:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B \cdot K_P \cdot K_{\Phi} \cdot K_d \cdot K_U \cdot K_{\Sigma} \cdot K_{\Pi},$$

предварительно введя формулы для расчета коэффициента режима работы K_P и коэффициента напряжений K_U , учитывающего отношение рабочего напряжения на транзисторе к максимально допустимому напряжению, т.е.

$$K_P = A \exp \left[\frac{N_T}{273 + t_{\text{окр}} + \Delta t K_H} + \left(\frac{273 + t_{\text{окр}} + \Delta t K_H}{T_M} \right)^L \right], \quad K_U = 1 / [2,42 - 2,09 K_H^{(U)}].$$

2.3) Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа биполярного транзистора при заданных исходных данных, занести в отчет по работе листинг программы расчетов с полученным результатом.

2.4) Сравнить полученную эксплуатационную интенсивность отказов с базовой интенсивностью отказов, объяснить полученный результат.

Пример расчёта в Mathcad Professional:

$$\begin{aligned} \lambda_B &:= 0.044 \cdot 10^{-6} \\ A &:= 5.2 \\ N_T &:= -1162 \\ T_M &:= 448 \\ L &:= 13.8 \\ \Delta t &:= 150 \\ t_{\text{окр}} &:= 60 \\ K_H &:= 0.6 \\ K_P &:= A \cdot \exp \left[\frac{N_T}{273 + t_{\text{окр}} + \Delta t K_H} + \left(\frac{273 + t_{\text{окр}} + \Delta t K_H}{T_M} \right)^L \right] = 0.524 \\ K_{\Phi} &:= 1.5 \\ K_d &:= 1.3 \\ K_U &:= \frac{1}{2.42 - 2.09 \cdot K_H} = 0.858 \\ K_{\Sigma} &:= 1.2 \\ K_{\Pi} &:= 1 \\ \lambda_{\Sigma} &:= \lambda_B \cdot K_P \cdot K_{\Phi} \cdot K_d \cdot K_U \cdot K_{\Sigma} \cdot K_{\Pi} = 46.299 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

Задание 3. Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа СВЧ диода при заданных исходных данных.

Исходные данные по вариантам представлены в таблице 3.

Таблица 3. Исходные данные для задания 3.

Вариант	Темп. окр. среды (токp)	Макс. допустимая рассеиваемая мощность Pmax ТУ, Вт	Вариант	Темп. окр. среды (токp)	Макс. допустимая рассеиваемая мощность Pmax ТУ, Вт
1	45	≤ 1	11	35	≤ 1
2	46	$> 1 \leq 5$	12	34	$> 1 \leq 5$
3	47	$> 5 \leq 20$	13	33	$> 5 \leq 20$
4	48	$> 20 \leq 50$	14	32	$> 20 \leq 50$
5	49	$> 50 \leq 200$	15	31	$> 50 \leq 200$
6	50	≤ 1	16	30	≤ 1
7	51	$> 1 \leq 5$	17	29	$> 1 \leq 5$
8	52	$> 5 \leq 20$	18	28	$> 5 \leq 20$
9	54	$> 20 \leq 50$	19	27	$> 20 \leq 50$
10	55	$> 50 \leq 200$	20	26	$> 50 \leq 200$

Порядок расчета:

3.1) Ввести исходные данные для вычислений:

- заданную в табл.3 температуру окружающей среды СВЧ диода ($t_{окp}$);
- базовую интенсивность отказов элементов данной группы, λ_b (см. табл.13 из Приложения Б);
- значение коэффициента нагрузки $K_n = 0.8$;
- параметры, входящие для расчета коэффициента режима работы, K_p (см. табл. 6 Приложения А);
- коэффициент, зависящий от значения максимально допустимой по ТУ нагрузки мощности (или току), K_d (см. табл. 8 из Приложения Б);
- коэффициент эксплуатации, зависящий от жесткости условий эксплуатации, $K_э$ относящийся группе Зчp (см. табл. 10 и 11 из Приложения Б);
- коэффициент военной приемки, учитывающий степень жесткости требований контролю качества и правилам приемки элементов (компонентов РЭС) в условиях производства, K_n (см. табл. 15 из Приложения Б)

3.2) Составить в среде Mathcad Professional математическую модель расчёта эксплуатационной интенсивности отказов диода СВЧ по формуле

$$\lambda_{\text{Э}} = \lambda_b \cdot K_p \cdot K_d \cdot K_э \cdot K_n,$$

предварительно введя формулу для расчета коэффициента режима работы K_p , т.е.

$$K_p := A \cdot \exp \left[\frac{N_t}{273 + t_{окp} + \Delta t \cdot K_n} + \left(\frac{273 + t_{окp} + \Delta t \cdot K_n}{T_m} \right)^L \right]$$

3.3) Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа СВЧ диода при заданных исходных данных, занести в отчет по работе листинг программы расчетов с полученным результатом.

3.4) Сравнить полученную эксплуатационную интенсивность отказов с базовой интенсивностью отказов, объяснить полученный результат.

Пример расчёта в Mathcad Professional:

$$\lambda_b := 0.162 \cdot 10^{-6}$$

$$N_t := -2138$$

$$t_{окp} := 50$$

$$\Delta t := 150$$

$$K_n := 0.8$$

$$T_m := 448$$

$$L := 17.7$$

$$A := 44.1025$$

$$K_P := A \cdot \exp \left[\frac{N_t}{273 + t_{окр} + \Delta t \cdot K_H} + \left(\frac{273 + t_{окр} + \Delta t \cdot K_H}{T_m} \right)^L \right] = 0.803$$

$$K_d := 2$$

$$K_э := 1.2$$

$$K_{п} := 1$$

$$\lambda_э := \lambda_б \cdot K_P \cdot K_d \cdot K_э \cdot K_{п} = 312.07 \times 10^{-9}$$

Задание 4. Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа слюдяного конденсатора при заданных исходных данных (повышенный уровень).

Исходные данные по вариантам представлены в таблице 4.

Таблица 4. Исходные данные для задания 4.

Вариант	Темп. окр.среды (токр)	Номинальная емкость конденсатора, пФ	Вариант	Темп. окр.среды (токр)	Номинальная емкость конденсатора, пФ
1	25	110	11	35	300
2	26	120	12	34	330
3	27	130	13	33	360
4	28	150	14	32	390
5	29	160	15	31	430
6	30	180	16	30	370
7	31	200	17	29	510
8	32	220	18	28	560
9	34	240	19	27	620
10	35	270	20	26	680

Порядок расчёта:

4.1) Ввести исходные данные для вычислений:

- заданную в табл.4 температуру окружающей среды конденсатора ($t_{окр}$) и его номинальную емкость C ;
- базовую интенсивность отказов элементов данной группы, $\lambda_б$ (см. табл.13 из Приложения Б);
- значение коэффициента нагрузки $K_H = 0.8$;
- параметры, входящие для расчета коэффициента режима работы, K_P (см. табл. 14 Лекции 3);
- коэффициент эксплуатации, зависящий от жесткости условий эксплуатации, $K_э$, относящийся группе Зчр (см. табл. 10 и 11 из Приложения Б);
- коэффициент военной приемки, учитывающий степень жесткости требований контролю качества и правилам приемки элементов (компонентов РЭС) в условиях производства, $K_{п}$ (см. табл. 15 из Приложения Б).

4.2) Составить среде Mathcad Professional математическую модель расчёта эксплуатационной интенсивности отказа слюдяного конденсатора по формуле

$$\lambda_э = \lambda_б \cdot K_P \cdot K_C \cdot K_э \cdot K_{п},$$

предварительно введя формулы для расчета коэффициента режима работы K_P и для коэффициента емкости K_C слюдяного конденсатора

$$K_P = A \left[\left(\frac{K_H}{N_s} \right)^H + 1 \right] \exp \left[B \left(\frac{t_{окр} + 273}{N_T} \right)^G \right], \quad \text{и } K_C = 0.4 \cdot C^{0.14},$$

где C в пФ.

4.3) Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа конденсатора при заданных исходных данных, занести в отчет по работе листинг программы расчетов с полученным результатом.

4.4) Сравнить полученную эксплуатационную интенсивность отказов с базовой интенсивностью отказов, объяснить полученный результат.

Пример расчёта в Mathcad Professional:

$\lambda_6 := 0.04 \cdot 10^{-6}$ базовая интенсивность отказов

$K_H := 0.8$ коэффициент электрической нагрузки

$t_{окр} := 30$ температура окружающей среды

$A := 9.885 \cdot 10^{-8}$

$B := 16$

$N_t := 358$

$G := 1$ постоянные коэффициенты

$N_s := 0.4$

$H := 3$

$$K_p := A \cdot \left[\left(\frac{K_H}{N_s} \right)^H + 1 \right] \cdot \exp \left[B \cdot \left(\frac{t_{окр} + 273}{N_t} \right)^G \right] = 0.677 \text{ коэффициент режима работы}$$

$C := 100 \cdot 10^{-12}$ номинальная емкость конденсатора

$K_c := 0.4 \cdot C^{0.14} = 0.016$ коэффициент зависящий от значения номинальной емкости

$K_z := 1.2$ коэффициент эксплуатации

$K_n := 1$ коэффициент приемки

$\lambda_z := \lambda_6 \cdot K_p \cdot K_c \cdot K_z \cdot K_n = 517.241 \times 10^{-12}$ эксплуатационная интенсивность отказов

Задание 5. Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа непроволочного переменного резистора при заданных исходных данных (повышенного уровня).

Исходные данные по вариантам представлены в таблице 5.

Таблица 5. Исходные данные для задания 5.

Вариант	Темп. окр. среды ($t_{окр}$)	Диапазон сопротивлений (K_R)	Вариант	Темп. окр. среды ($t_{окр}$)	Диапазон сопротивлений (K_R)
1	25	$> 10 \text{ Ом} \leq 100 \text{ Ом}$	11	35	$> 10 \text{ Ом} \leq 100 \text{ Ом}$
2	26	$> 100 \text{ Ом} \leq 330 \text{ Ом}$	12	34	$> 100 \text{ Ом} \leq 330 \text{ Ом}$
3	27	$> 330 \text{ Ом}$	13	33	$> 330 \text{ Ом}$
4	28	$> 10 \text{ Ом} \leq 100 \text{ Ом}$	14	32	$> 10 \text{ Ом} \leq 100 \text{ Ом}$
5	29	$> 100 \text{ Ом} \leq 330 \text{ Ом}$	15	31	$> 100 \text{ Ом} \leq 330 \text{ Ом}$
6	30	$> 330 \text{ Ом}$	16	30	$> 330 \text{ Ом}$
7	31	$> 10 \text{ Ом} \leq 100 \text{ Ом}$	17	29	$> 10 \text{ Ом} \leq 100 \text{ Ом}$
8	32	$> 100 \text{ Ом} \leq 330 \text{ Ом}$	18	28	$> 100 \text{ Ом} \leq 330 \text{ Ом}$
9	34	$> 330 \text{ Ом}$	19	27	$> 330 \text{ Ом}$
10	35	$> 10 \text{ Ом} \leq 100 \text{ Ом}$	20	26	$> 10 \text{ Ом} \leq 100 \text{ Ом}$

Порядок расчёта:

5.1) Ввести исходные данные для вычислений:

– заданную в табл. 5 температуру окружающей среды конденсатора ($t_{окр}$);

- базовую интенсивность отказов элементов данной группы, λ_6 (см. табл.13 из Приложения Б);
- значение коэффициента нагрузки $K_H = 0.8$;
- параметры, входящие для расчета коэффициента режима работы, K_P (см. табл. 16 Лекции 3);
- значения коэффициента K_R (см. табл. 18 Лекции 3);
- коэффициент эксплуатации, зависящий от жесткости условий эксплуатации, $K_Э$, относящийся группе ЗЧР (см. табл. 10 и 11 из Приложения Б);
- коэффициент военной приемки, учитывающий степень жесткости требований контролю качества и правилам приемки элементов (компонентов РЭС) в условиях производства, $K_{П}$ (см. табл. 15 из Приложения Б);
- значения коэффициента K_U для переменных непроволочных резисторов, равное 1.2.

5.2) Составить среде Mathcad Professional математическую модель расчёта эксплуатационной интенсивности отказа непроволочного переменного резистора по формуле

$$\lambda_э = \lambda_6 \cdot K_P \cdot K_R \cdot K_Э \cdot K_{П} \cdot K_U,$$

предварительно введя формулу для расчета коэффициента режима работы K_P , т.е.

$$K_P = A \exp \left[B \left(\frac{t_{\text{окр}} + 273}{N_T} \right)^G \right] \exp \left\{ \left[\left(\frac{K_H}{N_S} \right) \left(\frac{t_{\text{окр}} + 273}{273} \right)^J \right]^H \right\},$$

5.3) Рассчитать эксплуатационную интенсивность отказа переменного непроволочного резистора при заданных исходных данных, занести в отчет по работе листинг программы расчетов с полученным результатом.

5.4) Сравнить полученную эксплуатационную интенсивность отказов с базовой интенсивностью отказов, объяснить полученный результат.

Пример расчёта в Mathcad Professional:

$\lambda_6 := 0.179 \cdot 10^{-6}$ базовая интенсивность отказов

$A := 0.26$

$B := 0.5$

$N_t := 343$

$G := 9.278$ постоянные коэффициенты

$N_s := 0.878$

$J := 1$

$H := 0.886$

$t_{\text{окр}} := 45$ температура окружающей среды

$K_H := 0.8$ коэффициент электрической нагрузки

$$K_P := A \cdot \exp \left[B \cdot \left(\frac{t_{\text{окр}} + 273}{N_t} \right)^G \right] \cdot \exp \left[\left(\frac{K_H}{N_s} \right) \left(\frac{t_{\text{окр}} + 273}{273} \right)^J \right]^H = 0.747 \quad \text{коэффициент режима работы}$$

$K_R := 0.5$ коэффициент зависящий от значения номинального сопротивления

$K_Э := 1.2$ коэффициент эксплуатации

$K_{П} := 1$ коэффициент приемки

$K_U := 1.2$

$$\lambda_э := \lambda_6 \cdot K_P \cdot K_R \cdot K_Э \cdot K_{П} \cdot K_U = 96.234 \times 10^{-9} \quad \text{эксплуатационная интенсивность отказов}$$

Заключение

Оформить результаты работы в виде отчета с выполненными практическими заданиями и представить его на проверку.

В отчете отобразить:

- тему и цель работы, расчетные задания;
- листинги составленных в Mathcad Professional программ;
- полученные результаты расчетов;
- выводы по результатам проделанной работы и выполнения заданий.

**Практическое занятие разработано
доцентом кафедры инфокоммуникаций,
кандидатом технических наук, доцентом, профессором РАЕ
К.М. Сагдеевым**

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

Тема: АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ НАДЕЖНОСТИ РЭС

Время – 2 учебных часа.

ЦЕЛЕВАЯ УСТАНОВКА ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ:

В ходе практического занятия студенты должны овладеть следующими умениями и навыками:

- осуществлять эксплуатацию систем связи путем анализа структурных схем надежности РЭС для обеспечения их безотказной работы (ПК-6);
- выполнять расчеты показателей надежности РЭС действующего оборудования систем связи для предварительной оценки их безотказной работы (ПК-6);
- применять рассчитанные показатели безотказной работы для обоснования эксплуатационной надежности РЭС и прогнозирования оценки соответствия технических параметров РЭС установленным эксплуатационно-техническим нормам (ПК-7).

Учебно-материальное обеспечение:

- 1) Электронные лаборатории на IBM PC, из расчета 1 компьютер на 1 – 2 человека, оснащенные программами:
 - Microsoft Word для оформления отчетов по практическому занятию;
 - Mathcad Professional 15.0 для автоматизации математических расчетов.
- 2) Методическая разработка к практическому занятию по дисциплине Техническое обеспечение систем связи: [Электронный ресурс].

Структура практического занятия:	
Вводная часть	10 мин
Вступительная часть	2 мин
Проверка готовности студентов к занятию	8 мин
Вопросы (задачи), подлежащие исследованию:	75 мин
1. <i>Анализ структурных схем надёжности РЭС</i>	75 мин
Заключительная часть	5 мин
Подведение итогов	3 мин
Задание студентам для самостоятельной работы	2 мин

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

Краткие теоретические или справочно-информационные материалы.

Структурные модели надежности представляют собой графическое изображение (в виде структурных схем) структур РЭС, в которых выделены элементы и связи, выполняющие основные функции данного устройства. Наиболее простыми и информативными моделями надежности являются графические, которые составляются следующим образом:

1) после исследования функционирования изучаемой системы выявляются возможные отказы ее элементов и оценивается их влияние на работоспособность РЭС;

2) исследуемое РЭС расчленяется таким образом, чтобы отдельные его части были независимы в отношении отказов.

Каждая часть РЭС (компонент модели надежности) может находиться в двух состояниях: работоспособном и неработоспособном. При составлении модели надежности функциональные или электрические связи между отдельными частями РЭС заменяют логическими, характеризующими безотказную работу изделия, причем в модель его надежности включают лишь те элементы, которые необходимы для выполнения основной функции изделия. Наиболее универсальными моделями надежности являются последовательные и параллельные соединения компонентов, а также их сочетание – смешанное соединение. Рассмотрим основные свойства этих моделей.

1) Последовательная модель

Последовательная модель состоит из двух или более элементов, соединенных последовательно.

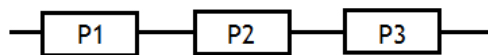


Рис. 1 – Последовательная модель включения элементов:
 p_1, p_2, p_3 – вероятность безотказной работы каждого элемента

При последовательном соединении отказ одного элемента приводит к отказу всего устройства.

Если отказы элементов независимы и являются случайными событиями, а отказавшие элементы не заменяют, то вероятность безотказной работы системы:

$$P_c = \prod_{i=1}^N p_i(t), \quad (1)$$

где $p_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента системы ($i = 1 \dots N$)

Вероятность отказа системы за время t :

$$Q_c(t) = 1 - P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^N p_i(t) \quad (2)$$

2) Параллельная модель

Параллельная модель состоит из двух или более элементов, подключенных параллельно.

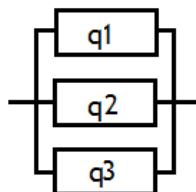


Рис. 2 – Параллельная модель включения элементов:
 q_1, q_2, q_3 – вероятность отказа

При таком соединении система работоспособна, если хотя бы один элемент исправен:

$$Q_c(t) = \prod_{i=1}^N q_i(t) \quad (3)$$

$$P_c(t) = 1 - Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^N q_i(t) \quad (4)$$

Эти соотношения используют для оценки систем с резервированием.

Смешанным соединением называется сочетание параллельного и последовательного типов соединений.

В инженерной практике при оценке надежности РЭС наблюдаются случаи, когда условия работоспособности не дают возможности сразу представить его простейшими параллельно-последовательными структурными логическими схемами надежности, которые легко преобразуются. Поэтому существуют методы адекватной замены сложных схем надежности более простыми эквивалентными.

Перечень вопросов для проверки подготовленности к практическому занятию:

1. По каким правилам строится структурная схема надежности РЭС?
2. На чем основаны структурные методы расчета надежности РЭС?
3. Каким образом учитывается влияние коэффициента электрической нагрузки при расчетах надежности?
4. Дайте характеристику смешанного соединения элементов.
5. Расскажите правила преобразования сложной структуры по базовому элементу.
6. Каким образом оценивается результат ориентировочного расчета надежности?
7. Какой показатель является определяющим при вычислении коэффициента электрической нагрузки ЭРЭ?
8. Почему при ориентировочном расчете надежности невозможно получение однозначного результата?
9. В чем особенность вычисления коэффициента электрической нагрузки для цифровых микросхем?

Содержание практической работы в ходе занятия

Описание рабочего оборудования:

Электронные лаборатории на IBM PC, оснащенные программами:

- Microsoft Word для оформления отчетов по практическому занятию;
- Mathcad Professional 15.0 для автоматизации математических расчетов.

Требования безопасности при выполнении работы:

- К проведению практического занятия допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.

- Включение компьютеров осуществляется только с разрешения преподавателя.
- При проведении практического занятия не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.
- Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов рабочего оборудования (компьютеров).
- При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование (компьютер) от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.
- При возгорании оборудования (компьютера) его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.
- По окончании работы с оборудованием (компьютерами) его необходимо выключить установленным порядком.

Задание для работы по первому учебному вопросу:

Работа студентов осуществляется путем решения заданных практическим задач по индивидуальным исходным данным в соответствии с номером варианта, указанного преподавателем.

Задания базового уровня:

Задачи 1 – 8.

Задачи базового уровня решаются репродуктивным методом с помощью приведенных примеров. Правильное решение только задач базового уровня оценивается оценкой удовлетворительно.

Задания повышенного уровня:

Задачи 9 – 12.

Задачи повышенного уровня выполняются самостоятельно. Безошибочное решение всех задач базового и повышенного уровней оценивается оценкой отлично. При безошибочном решении всех задач базового уровня и двух (любой) задач повышенного уровня выставляется оценка хорошо.

Базовый уровень

Задача 1. Прибор состоит из пяти блоков, причем выход из строя любого из этих блоков приводит к отказу прибора. Блоки выходят из строя независимо друг от друга. Определить, какую модель следует использовать для определения надежности прибора и чему равна вероятность его исправной работы, если надежность каждого блока p составляет $0,7+0,01 \cdot N$, где N – номер варианта.

Задача 2. Прибор состоит из пяти блоков. Отказ прибора происходит при выходе из строя первого блока и одновременном выходе из строя всех остальных блоков. Определить, какую модель необходимо использовать для определения надежности прибора и чему равна вероятность его исправной работы, если надежность каждого блока p составляет $0,7+0,01 \cdot N$, где N – номер варианта.

Задача 3. Построить модель надежности и определить вероятность безотказной работы системы из последовательно соединенных резисторов, приведенной на рис. 3. Тип отказа резисторов — тепловая деструкция, причем все резисторы равнонадежны с вероятностью безотказной работы $0,65+0,01*N$, где N — номер варианта.

Задача 4. Построить модели надежности и определить вероятности безотказной работы электрических соединений резисторов, показанных на рис. 4, считая все резисторы равнонадежными с вероятностью безотказной работы $0,65+0,01*N$, где N — номер варианта. Тип отказа резисторов — тепловая деструкция.

Задача 5. Построить модель надежности и определить вероятность безотказной работы электрического соединения конденсаторов, показанного на рис. 5. Типы отказов конденсаторов — короткое замыкание и обрыв. Все конденсаторы равнонадежны с вероятностью безотказной работы $0,7+0,01*N$, где N — номер варианта.

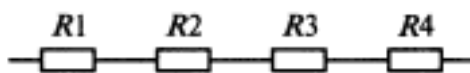


Рис. 3 – Схема соединения резисторов к задаче 3

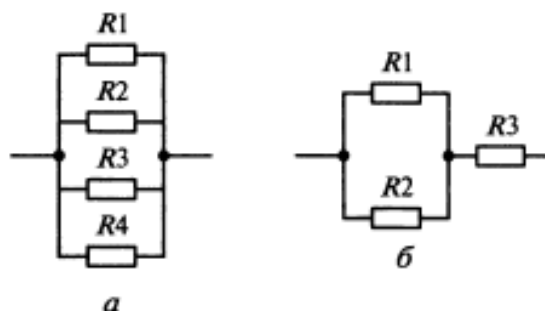


Рис. 4 – Схемы (а, б) соединений резисторов к задаче 4

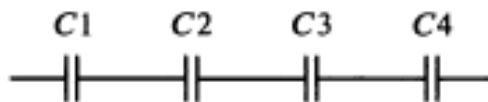


Рис. 5 – Схема соединения конденсаторов к задаче 5

Задача 6. Используя условия задачи 5, построить модель надежности и определить вероятность безотказной работы схемы соединения конденсаторов, приведенной на рис. 6.

Задача 7. Построить модель надежности и определить вероятность безотказной работы схемы соединения резисторов и конденсаторов, изображенной на рис. 7. Все элементы равнонадежны с вероятностью безотказной работы $0,7+0,01*N$, где N — номер варианта. Тип отказа конденсаторов — короткое замыкание, а резисторов — тепловая деструкция.

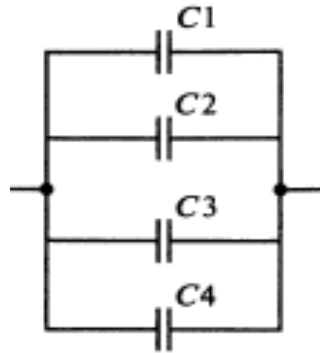


Рис. 6 – Схема соединения конденсаторов к задаче 6

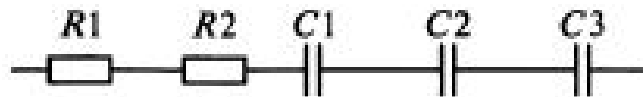


Рис. 7 – Схема соединения резисторов и конденсаторов к задаче 7

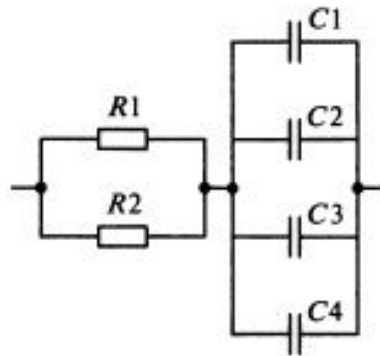


Рис. 8 – Схема соединения резисторов и конденсаторов к задаче 8

Повышенный уровень:

Задача 8. Построить модель надежности и определить вероятность безотказной работы схемы соединения резисторов и конденсаторов, приведенной на рис. 8. Все элементы равнонадежны с вероятностью безотказной работы $0,7+0,01*N$, где N – номер варианта. Тип отказа конденсаторов – короткое замыкание, а резисторов – тепловая деструкция.

Задача 9. По структурной модели надежности, показанной на рис. 7, определить вероятность безотказной работы устройства, если вероятности безотказной работы элементов схемы следующие:

$$p_1=0,65+0,01*N; p_2=0,7+0,01*N; p_3=0,62+0,01*N; p_4=0,7+0,01*N; \\ p_5=0,6+0,01*N.$$

Задача 10. По структурной модели надежности, показанной на рис. 8, определить вероятность безотказной работы устройства, если вероятности безотказной работы элементов схемы следующие:

$$p_1=0,65+0,01*N; p_2=0,7+0,01*N; p_3=0,62+0,01*N; p_4=0,7+0,01*N; \\ p_5=p_6=0,6+0,01*N.$$

Задача 11. Найти вероятность безотказной работы функциональной цепи (рис. 9), состоящей из независимо работающих элементов, если вероятность работы каждого элемента цепи равна

$p_1=0,6+0,01*N$, $p_2=$ $p_3=0,66+0,01*N$, $p_4=$ $p_5=$ $p_6=0,72+0,01*N$, $p_7=$ $p_8=$ $p_9=0,68+0,01*N$.

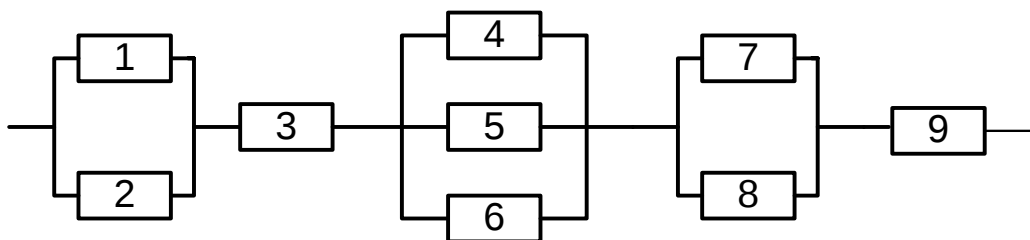


Рис. 9 – Схема функциональной цепи, состоящей из независимо работающих элементов

Задача12. РЭС состоит из 3-х узлов, которые за время работы могут выходить из строя независимо друг от друга. Надежность (вероятность безотказной работы) i -го узла равна p_i , вероятность отказа $q_i = 1 - p_i$ ($i = 1, 2, 3$). $p_1=0,72+0,01*N$; $p_2=0,78+0,01*N$; $p_3=0,7+0,01*N$. Найти вероятности следующих событий: A - все узлы работают безотказно; B - первый узел отказал, остальные нет; C - один из узлов отказал, остальные нет; D - отказали два узла из 3-х; E - отказал хотя бы один узел.

Заключение

Оформить результаты работы в виде отчета с выполненными практическими заданиями и представить его на проверку.

В отчете отобразить:

- тему и цель работы, расчетные задания;
- листинги составленных в Mathcad Professional программ;
- таблицы с результатами расчетов;
- выводы по результатам проделанной работы и выполнения заданий.

Практическое занятие разработано
доцентом кафедры инфокоммуникаций,
кандидатом технических наук, доцентом, профессором РАЕ
К.М. Сагдеевым

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

Тема: РАСЧЕТ ПЕРИОДИЧНОСТИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Время– 2 учебных часа.

Целевая установка практического занятия:

В ходе практического занятия студенты должны овладеть следующими умениями и навыками:

- осуществлять обеспечение надежности на этапах эксплуатации радиоэлектронных средств путем расчета показателей для обоснования их технического обслуживания (ПК-6);
- выполнять расчеты периодичности и продолжительности профилактических работ радиоэлектронных средств, коэффициенты их готовности при планировании и организации профилактических работ в рамках планового технического обслуживания на действующем оборудовании систем связи (ПК-6);
- применять рассчитанные показатели для обоснования необходимости проведения профилактических работ технического обслуживания с целью обеспечения соответствия технических параметров РЭС установленным эксплуатационно-техническим нормам (ПК-7).

Учебно-материальное обеспечение:

- 1) Электронные лаборатории на IBM PC, из расчета 1 компьютер на 1 – 2 человека, оснащенные программами:
 - Microsoft Word для оформления отчетов по практическому занятию;
 - Mathcad Professional 15.0 для автоматизации математических расчетов.
- 2) Методическая разработка к практическому занятию по дисциплине Техническое обеспечение систем связи: [Электронный ресурс].

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

Краткие теоретические или справочно-информационные материалы

При сокращении промежутка времени между очередными техническими обслуживаниями РЭО повышается его надёжность за счет своевременного проведения контрольно-регулирующих работ. При этом увеличивается общее время профилактики в течение года и соответственно уменьшается продолжительность работы оборудования за этот отрезок времени по прямому назначению.

Оптимальным периодом проведения профилактических работ можно считать период $\tau_{ТО}$ между профилактиками, при котором величина коэффициента простоя $K_{П}$ принимает наименьшее значение. Величину коэффициента простоя находим из выражения:

$$K_{П} = \frac{T_{П}}{T_{П} + T_{ОП}}, \quad (1)$$

где $T_{ОП}$ – среднее время нахождения объекта в работоспособном состоянии между двумя соседними по времени профилактиками;

$$T_{П} = \tau_{ТО} + T_{ТО} - T_{ОП} \quad (2)$$

- среднее время нахождения объекта в неработоспособном состоянии; $T_{ТО}$ – средняя продолжительность профилактики (технического обслуживания).

При $T_{П} \approx T_{ТО}$ оптимальный период проведения профилактических работ можно рассчитывать по формуле:

$$\tau_{\text{ТО}} = \sqrt{\frac{2T_{\text{ТО}}}{\lambda_{\text{П}}}}, \quad (3)$$

где $\lambda_{\text{П}}$ – интенсивность отказов при проведении профилактик.

Для случая экспоненциального распределения отказов:

$$\tau_{\text{ТО}} = \sqrt{2T_{\text{ТО}}T_{\text{ОП}}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{ОП}}$ – наработка объекта между двумя соседними по времени профилактиками.

Для аппаратуры, которая часть времени работает, имея при этом интенсивность отказов $\lambda_{\text{Р}}$, а другую часть времени хранится в выключенном состоянии, имея интенсивность отказов $\lambda_{\text{ХР}}$, величину $\lambda_{\text{П}}$ находят из выражения:

$$\lambda_{\text{П}} = K_{\text{И}}\lambda_{\text{Р}} + (1 - K_{\text{И}})\lambda_{\text{ХР}}, \quad (5)$$

где $K_{\text{И}}$ – коэффициент эффективности эксплуатации, равный вероятности нахождения аппаратуры во включенном состоянии в произвольный момент времени:

$$K_{\text{И}} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{t_k}, \quad (6)$$

где t_i – время работы аппаратуры при i -ом включении; n – число её включений за календарное время t_k .

Таким образом, при $K_{\text{И}} < 1$ выражение (3) для определения оптимального периода проведения профилактических работ примет с учетом (5) вид:

$$\tau_{\text{ТО}} = \sqrt{\frac{2T_{\text{ТО}}}{K_{\text{И}}\lambda_{\text{Р}} + (1 - K_{\text{И}})\lambda_{\text{ХР}}}}. \quad (7)$$

Обычно величиной $\lambda_{\text{ХР}} = (10^{-3} \dots 10^{-2}) \lambda_{\text{Р}}$, пренебрегают по сравнению с $\lambda_{\text{Р}}$. В этом случае выражение (7) упрощается:

$$\tau_{\text{ТО}} = \sqrt{\frac{2T_{\text{ТО}}}{K_{\text{И}}\lambda_{\text{Р}}}}. \quad (8)$$

Использование в аппаратуре современных интегральных микросхем и цифровой обработки информации повышает её надёжность и стабильность. Для этой аппаратуры оптимальный период проведения профилактических работ $\tau_{\text{ТОС}}$ как показывает опыт, оказывается большим, чем такой же период $\tau_{\text{ТО}}$ аппаратуры в обычном исполнении:

$$\tau_{\text{ТОС}} = K_{\text{СТ}}\tau_{\text{ТО}}, \quad (9)$$

где $K_{\text{СТ}} \geq 1$ – поправочный коэффициент для учета стабильности параметров аппаратуры, определяемый по результатам эксплуатации или специальных испытаний для каждого типа аппаратуры.

Для аппаратуры одноразового действия профилактика проводится во время хранения, величина коэффициента эффективности эксплуатации $K_{\text{И}}$ близка к нулю и формула (7) для вычисления $\tau_{\text{ТО}}$ упрощается:

$$\tau_{\text{ТО}} = \sqrt{\frac{2T_{\text{ТО}}}{\lambda_{\text{ХР}}}}. \quad (10)$$

Средняя продолжительность ТО определяется из выражения:

$$T_{\text{ТО}} = \sum_{i=1}^m T_{\text{ТО}i}, \quad (11)$$

где $T_{\text{ТО}i}$ – среднее время i -ой операции; m – число операций при одной профилактике.

Отсутствие простоев характеризуют с помощью коэффициента готовности, равного вероятности того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме периодов плановых ремонтов, плановых ТО и других плановых мероприятий, прерывающих эксплуатацию объекта по назначению.

Коэффициент готовности при проведении профилактики:

$$K_{ГП} = \frac{T_{оп}}{T_{оп} + T_{п}} \quad (12)$$

Часто в задачах принимают, что среднее время нахождения объекта в неработоспособном состоянии $T_{п}$ равно среднему времени ТО ($T_{п} \approx T_{ТО}$) или что оно равно среднему времени ремонта ($T_{п} \approx T_{р}$).

Коэффициент готовности при отсутствии профилактики:

$$K_{ГП} = \frac{T_0}{T_0 + T_{р}}, \quad (13)$$

где T_0 – среднее время нахождения объекта в работоспособном состоянии при отсутствии профилактических работ.

Безотказность транспортного радиоэлектронного оборудования, относящегося к восстанавливаемым изделиям многократного циклического применения, характеризуют коэффициентом оперативной готовности $K_{ог}(t)$, равным вероятности того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени t_r . При экспоненциальном законе вероятности безотказной работы:

$$K_{ог}(t) = K_{ге}^{-\lambda_{пт}t}. \quad (14)$$

Коэффициент готовности характеризует готовность объекта к применению по назначению только в отношении его работоспособности в произвольный момент времени. **Коэффициент же оперативной готовности** характеризует надёжность объекта, необходимость применения которого возникает в произвольный момент времени, после которого требуется безотказная работа в течение заданного интервала времени.

Коэффициент оперативной готовности при проведении профилактики

$$K_{огп} = K_{гп}e^{-\lambda_{рп}t}, \quad (15)$$

где $\lambda_{рп}$ – интенсивность отказов при наличии профилактических работ.

Перечень вопросов для проверки подготовленности к практическому занятию:

- 1) Что такое коэффициент оперативной готовности и как он определяется?
- 2) В каких случаях величиной λ_r пренебрегают?
- 3) Что произойдет с РЭО, если сократить время между очередным техническим обслуживанием?
- 4) Как определяется величина $\lambda_{п}$ для аппаратуры, которая часть времени работает, имея при этом интенсивность отказов λ_r ?
- 5) Что характеризует коэффициент готовности?
- 6) Что такое $K_{и}$ и по какой формуле он определяется?

Содержание практической работы в ходе занятия

Описание рабочего оборудования:

Электронные лаборатории на IBM PC, оснащенные программами:

- Microsoft Word для оформления отчетов по практическому занятию;
- Mathcad Professional 15.0 для автоматизации математических расчетов.

Требования безопасности при выполнении работы:

- К проведению практического занятия допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.
- Включение компьютеров осуществляется только с разрешения преподавателя.
- При проведении практического занятия не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.
- Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов рабочего оборудования (компьютеров).

- При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование (компьютер) от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.
- При возгорании оборудования (компьютера) его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.
- По окончании работы с оборудованием (компьютерами) его необходимо выключить установленным порядком.

Задание для работы по первому учебному вопросу:

Работа студентов осуществляется путем решения заданных практическим задач по индивидуальным исходным данным в соответствии с номером варианта, указанного преподавателем. Номер варианта задает индивидуальный ключ, с помощью которого студент выбирает исходные данные из таблиц 2 – 6. При этом первая, вторая и третья цифра ключа обозначает соответствующий столбец в указанных таблицах исходных данных.

Таблица 1 – Таблица соответствия индивидуальных ключей, формирующих исходные данные решаемых задач, номерам вариантов, заданных преподавателем.

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ключ, для выполнения задач	111	222	333	444	555	666	777	888	999	975
№ варианта	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ключ, для выполнения задач	134	256	388	468	531	697	712	854	986	921

Задания базового уровня:

- 1) Задача 1.
- 2) Задача 2.
- 3) Задача 3.

Задачи базового уровня решаются репродуктивным методом с помощью приведенных примеров. Правильное решение только задач базового уровня оценивается оценкой удовлетворительно.

Задания повышенного уровня:

- 4) Задача 4.
- 5) Задача 5.

Задачи повышенного уровня выполняются самостоятельно. Безошибочное решение всех пяти задач оценивается оценкой отлично. При безошибочном решении трех задач базового уровня и одной (любой) задачи повышенного уровня выставляется оценка хорошо.

Задача 1. Радиопередатчик работает в субботу и воскресенье по 4 ч в сутки, а в остальные дни – по 6 ч в сутки. Длительность профилактических работ по отдельным узлам передатчика в среднем составляют: по антенно- фидерному тракту – 1.5 ч, по остальным высокочастотным узлам – 2.5 ч, по блоку питания – 1 ч. Интенсивность отказов передатчика при проведении профилактических работ $\lambda_p = 2 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Определить оптимальный период профилактических работ. Отказами в выключенном состоянии пренебречь. Численные значения исходных величин для расчета даны в таблице 2 и зависят от номера варианта.

Пример расчета:

- а) с помощью выражения (6) вычисляется коэффициент эффективности эксплуатации:

$$\begin{aligned} \text{ORIGIN} &:= 1 \\ N &:= 7 \\ n &:= 1..7 \\ t_k &:= 7.24 \\ K_H &:= \sum_{n=1}^N \frac{t_n}{t_k} = 0.226 \end{aligned} \quad t := \begin{pmatrix} 4 \\ 4 \\ 6 \\ 6 \\ 6 \\ 6 \\ 6 \end{pmatrix}$$

б) с помощью выражения (11) находится средняя продолжительность ТО:

$$M := 3$$

$$T_{TO} := \begin{pmatrix} 1.5 \\ 2.5 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{TO} := \sum_{n=1}^M T_{TO_n} = 5$$

в) по формуле (8) определяется оптимальный период профилактических работ:

$$\tau_{TO} := \sqrt{\frac{2 \cdot T_{TO}}{K_H \cdot \lambda_p}} = 148.7$$

Ответ: оптимальный период профилактических работ $\tau_{TO} = 148.7$ ч

Исходные данные для выполнения индивидуальных заданий по заданным вариантам представлены в таблице 2. Общие исходные данные для всех вариантов: передатчик работает в субботу и воскресенье по 5 ч в сутки, а в остальные дни – по 8 ч в сутки.

Таблица 2 – Исходные данные для решения задачи 1

Первая цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda_{ХР}, \text{ч}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
$T_{01}, \text{ч}$	2	3	4	2	1	2	4	5	5
Вторая цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_{02}, \text{ч}$	2	3	2	4	5	6	7	4	4
Третья цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_{03}, \text{ч}$	3	1	3	2	5	4	3	4	5

Задача 2. Нарботка на отказ бортового радиолокатора при экспоненциальном законе надежности и без проведения профилактических работ составила $T_0 = 300$ ч. При проведении профилактических работ длительностью $T_{TO} = 5$ ч наработка на отказ составила 900 ч. Среднее время ремонта $T_p = 6$ ч. Коэффициент интенсивности эксплуатации $K_H = 0.25$. Интенсивность отказов в выключенном состоянии $\lambda_{ХР} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ч}^{-1}$. Определить оптимальный период про-

ведения профилактических работ, а также коэффициент готовности и коэффициент оперативной готовности для $t = 2$ ч без профилактики и при проведении профилактики. Численные значения исходных величин для расчета даны в таблице 3 и зависят от номера варианта.

Пример расчета:

а) экспоненциальное распределение применяется не только к неремонтируемым объектам, но и к ремонтируемым объектам с простейшими потоками отказов; с учетом этого находится интенсивность отказов радиолокатора без проведения профилактических работ:

$$\lambda_P := \frac{1}{T_0} = 3.3 \times 10^{-3}$$

и при проведении профилактических работ:

$$\lambda_{РП} := \frac{1}{T_{ОП}} = 1.1 \times 10^{-3}$$

б) находится оптимальный период проведения профилактических работ по формуле (7):

$$\tau_{ТО} := \sqrt{\frac{2 \cdot T_{ТО}}{K_{И} \cdot \lambda_{РП} + (1 - K_{И}) \cdot \lambda_{ХР}}} = 189.226$$

в) находятся коэффициенты готовности, равные вероятности того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме периодов плановых ремонтов, плановых ТО и других плановых мероприятий, прерывающих эксплуатацию объекта по назначению:

1) коэффициент готовности без проведения профилактики:

$$K_{Г} := \frac{T_0}{T_0 + T_P} = 0.98$$

2) коэффициент готовности при проведении профилактики:

$$K_{ГП} := \frac{T_{ОП}}{T_{ОП} + T_P}$$

$$K_{ГП} = 0.993$$

г) находятся коэффициенты оперативной готовности, равные вероятности того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени:

1) коэффициент оперативной готовности без проведения профилактики:

$$K_{ОГ} := K_{Г} \cdot e^{-\lambda_P \cdot t} = 0.97$$

2) коэффициент оперативной готовности при проведении профилактики:

$$K_{ОГП} := K_{ГП} \cdot e^{-\lambda_{РП} \cdot t} = 0.99$$

Ответ: оптимальный период проведения профилактических работ $\tau_{ТО} = 189.3$ ч; коэф-

коэффициенты готовности без проведения профилактики $K_T = 0.98$, а при проведении профилактики $K_{TP} = 0.993$; коэффициенты оперативной готовности без проведения профилактики $K_{OT} = 0.97$, а при проведении профилактики $K_{OTI} = 0.99$.

Исходные данные для выполнения индивидуальных заданий по заданным вариантам представлены в таблице 2.

Таблица 3 – Исходные данные для решения задачи 2

Первая цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_0, \text{ч}$	200	260	320	350	250	280	300	380	220
$T_{TO}, \text{ч}$	6	5	8	7	9	8,5	5,5	6,5	4
Вторая цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_{OP}, \text{ч}$	500	600	650	700	750	800	840	900	950
$T_P, \text{ч}$	5	7	6	8	4	3	5,5	4,5	8,5
K_{II}	0,15	0,25	0,1	0,2	0,3	0,35	0,4	0,25	0,35
Третья цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda_{XP}, \text{ч}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$
$t, \text{ч}$	2	3	4	5	3,5	8	7	6	2,5

Задача 3. Для посадки на планеты с высокой температурой поверхности (больше 500 °С) разработана специальная приёмо-передающая телевизионная система, которая незадолго до посадки охлаждается, затем работает на поверхности планеты менее получаса, после чего из-за сильного разогрева переходит в неработоспособное состояние. В системе используются современные высокостабильные интегральные схемы и цифровая обработка информации. Интенсивность отказов системы при охлаждении $\lambda_{XP} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$. Длительность профилактических работ по отдельным узлам системы в среднем составляют: по антенно-фидерному тракту – 2 ч, по приёмному тракту – 1.5 ч и по передающему тракту – 3 ч. По результатам испытаний получено численное значение поправочного коэффициента, учитывающего высокую стабильность параметров станции, $K_{CT} = 1.5$. Определить оптимальный период проведения профилактических работ. Численные значения исходных величин для расчета даны в таблице 4 и зависят от номера варианта.

Пример расчета:

а) определяется средняя продолжительность ТО:

$$T_{TO} := \begin{pmatrix} 2 \\ 1.5 \\ 3 \end{pmatrix}$$

$$T_{TO} := \sum_{n=1}^m T_{TO_n} = 6.5$$

б) определяется оптимальный период проведения профилактических работ для аппаратуры одноразового действия:

$$\tau_{TO} := \sqrt{\frac{2 \cdot T_{TO}}{\lambda_{XP}}} = 2.082 \times 10^3$$

определяется оптимальный период проведения профилактических работ с учётом поправочного коэффициента $K_{СТ}$:

$$\tau_{ТОС} := K_{СТ} \cdot \tau_{ТО} = 3.122 \times 10^3$$

Ответ: оптимальный период проведения профилактических работ $\tau_{ТОС} = 312$ ч.

Исходные данные для выполнения индивидуальных заданий по заданным вариантам представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные для решения задачи 3

Первая цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda_{ХР}, ч^{-1}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
$T_{01}, ч$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
Вторая цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_{02}, ч$	4	3	2	1	5	6	7	8	9
Третья цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_{03}, ч$	5	4	3	3,5	4,5	2,5	3	4	5

Задача 4. Передатчик, установленный на патрульной машине, для обеспечения скрытности передвижения машины работает в среднем t_1 мин за t_2 ч календарного времени. Длительности работ по отдельным узлам передатчика в среднем составляют: по антенно-фидерному тракту – T_{01} ч, по высокочастотным цепям передатчика – T_{02} ч, по низкочастотным цепям – T_{03} часов. Интенсивность отказов в выключенном состоянии $\lambda_{ХР}$. Нарботка на отказ без проведения профилактических работ составила T_0 часов при экспоненциальном законе распределения. При проведении профилактических работ наработка на отказ составила $T_{оп}$. Среднее время ремонта T_p . Определить оптимальный период проведения профилактических работ, а также коэффициент готовности и коэффициент оперативной готовности для времени t без профилактики и с профилактикой. Численные значения исходных величин для расчета даны в таблице 5 и зависят от номера варианта.

Исходные данные для выполнения индивидуальных заданий по заданным вариантам представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Исходные данные для решения задачи 4

Первая цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_{01}, ч$	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	1	0,5	1,5
$T_{02}, ч$	2	3	4	3	4	2	2	3	3
$T_{03}, ч$	1	1,5	2	1	2	1,5	0,5	2	1
Вторая цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_{оп}$	380	450	490	640	380	550	480	600	415
T_0	200	260	320	350	250	280	300	380	220
T_p	5	6	7	8	9	6	5	4	8
t	2	3	4	5	3,5	8	6	3,5	4,5
Третья цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda_{ХР}, ч^{-1}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
$t_2, ч$	1	3	2	5	3	5	2	3	5
$t_1, мин$	1	2	3	4	4	3	5	7	7

Задача 5. Специализированное вычислительное устройство, входящее в состав самолетной РЛС, выполнено на современных стабильных и высоконадежных интегральных схемах. Коэффициент интенсивности эксплуатации этого устройства равен $K_{И}$, средняя продолжительность ТО равна $T_{ТО}$, а интенсивность отказов при проведении профилактики $\lambda_{П}$. По результатам испытаний получено численное значение коэффициента, учитывающего высокую стабильность параметров устройства $K_{СТ}$. Определить оптимальный период проведения профилактических работ. Численные значения исходных величин для расчета даны в таблице 6 и зависят от номера варианта. Интенсивностью отказов при хранении пренебречь.

Исходные данные для выполнения индивидуальных заданий по заданным вариантам представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Исходные данные для решения задачи 5

Первая цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_{И}$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,17	0,22	0,12	0,28	0,3
$K_{СТ}$	1,5	1,7	1,9	2,1	1,45	1,55	1,65	1,75	1,85
Вторая цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_{ТО}$, ч	5	6	7	8	9	8,5	5,5	6,5	4
Третья цифра ключа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda_{ХР}$, ч ⁻¹	5 · 10 ⁻⁵	6 · 10 ⁻⁵	7 · 10 ⁻⁵	3 · 10 ⁻⁵	1 · 10 ⁻⁵	1,5 · 10 ⁻⁵	2,5 · 10 ⁻⁵	3,5 · 10 ⁻⁵	4,5 · 10 ⁻⁵

Заключение

Оформить результаты работы в виде отчета с выполненными практическими заданиями и представить его на проверку.

В отчете отобразить:

- тему и цель работы, расчетные задания;
- листинги составленных в Mathcad Professional программ;
- таблицы с результатами расчетов;
- выводы по результатам проделанной работы и выполнения заданий.

Практическое занятие разработано
доцентом кафедры инфокоммуникаций,
кандидатом технических наук, доцентом, профессором РАЕ
К.М. Сагдеевым

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

Тема: РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ (КЛАССИФИКАЦИИ) СОСТОЯНИЯ РЭС МЕТОДОМ БАЙЕСА

Время– 2 учебных часа.

Целевая установка практического занятия:

В ходе практического занятия студенты должны овладеть следующими умениями и навыками:

- осуществлять в процессе эксплуатации техническую диагностику РЭС путем решения задачи распознавания его состояния методом Байеса (ПК-5, ПК-6);
- выполнять расчет показателя надежности (вероятности выхода из строя РЭС) для обеспечения его нормального функционирования и проведения работ технического обслуживания в процессе эксплуатации(ПК-6);
- контролировать в процессе эксплуатации проектные параметры работы оборудования связи, применяя вероятностный метод Байеса для распознавания состояния РЭС (ПК-7).

Учебно-материальное обеспечение:

- 1) Электронные лаборатории на IBM PC, из расчета 1 компьютер на 1 – 2 человека, оснащенные программами:
 - Microsoft Word для оформления отчетов по практическому занятию;
 - Mathcad Professional 15.0 для автоматизации математических расчетов.
- 2) Методическая разработка к практическому занятию по дисциплине Техническое обеспечение систем связи: [Электронный ресурс].

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

Краткие теоретические или справочно-информационные материалы

Суть метода Байеса

Среди методов технической диагностики метод, основанный на обобщённой формуле Байеса (теорема или формула Байеса) – одна из основных теорем теории вероятностей, которая позволяет определить вероятность того, что произошло какое-либо событие (гипотеза) при наличии лишь косвенных тому подтверждений (данных), которые могут быть неточны, занимает особое место благодаря простоте и эффективности.

Метод Байеса имеет недостатки: большой объем предварительной информации, «угнетение» редко встречающихся диагнозов и др. Однако в случаях, когда объем статистических данных позволяет применить метод Байеса, его целесообразно использовать как один из наиболее надёжных и эффективных методов. Байесовский алгоритм принятия решения – это алгоритм, обеспечивающий минимум среднего риска. Априорная вероятность – распределение вероятностей, которое выражает предположения до учёта экспериментальных данных. Априорное распределение вероятностей (англ. prior probability distribution, или просто prior) неопределённой величины p – распределение вероятностей, которое выражает предположения о вероятности p до учёта экспериментальных данных.

Основы метода. Метод основан на простой формуле Байеса. Если имеется диагноз D_i и простой признак k_j , встречающийся при этом диагнозе, то вероятность совместного появления событий (наличие у объекта состояния D_i и признака k_j)

$$P(D_i k_j) = P(D_i) P(k_j/D_i) = P(k_j) P(D_i/k_j). \quad (1)$$

Из этого равенства вытекает формула Байеса

$$P(D_i/k_j) = P(D_i) P(k_i/D_i)/P(k_j). \quad (2)$$

Очень важно определить точный смысл всех входящих в эту формулу величин.

$P(D_i)$ — вероятность диагноза D_i , определяемая по статистическим данным (*априорная вероятность диагноза*). Так, если предварительно обследовано N объектов и у N_i объектов имелось состояние D_i , то

$$P(D_i) = N_i/N. \quad (3)$$

$P(k_j/D_i)$ — вероятность появления признака k_j у объектов с состоянием D_i . Если среди N_i объектов, имеющих диагноз D_i , у N_{ij} проявился признак k_j , то

$$P(k_j/D_i) = N_{ij}/N_i. \quad (4)$$

$P(k_j)$ — вероятность появления признака k_j во всех объектах независимо от состояния (диагноза) объекта. Пусть из общего числа N объектов признак k_j был обнаружен у N_j объектов, тогда

$$P(k_j) = N_j/N. \quad (5)$$

Для установления диагноза специальное вычисление $P(k_j)$ не требуется. В равенстве $P(D_i/k_j)$ — вероятность диагноза D_i после того, как стало известно наличие у рассматриваемого объекта признака k_j (*апостериорная вероятность диагноза*).

Обобщенная формула Байеса

Эта формула относится к случаю, когда обследование проводится по комплексу признаков K , включающему признаки $k_1, k_2, \dots, k_v$. Каждый из признаков k_j имеет m_j разрядов ($k_{j1}, k_{j2}, \dots, k_{js}, \dots, k_{jm_j}$). В результате обследования становится известной реализация признака

$$k_j^* = k_{js}. \quad (6)$$

и всего комплекса признаков K^* . Индекс $*$, как и раньше, означает конкретное значение (реализацию) признака. Формула Байеса для комплекса признаков имеет вид

$$P(D_i/K^*) = P(D_i)P(K^*/D_i) / P(K^*), \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (7)$$

где $P(D_i/K^*)$ — вероятность диагноза D_i после того, как стали известны результаты обследования по комплексу признаков K , $P(D_i)$ — предварительная вероятность диагноза D_i (по предшествующей статистике).

Формула (6) относится к любому из n возможных состояний (диагнозов) системы. Предполагается, что система находится только в одном из указанных состояний и потому

$$\sum_{s=1}^n P(D_s) = 1 \quad (8)$$

В практических задачах нередко допускается существование нескольких состояний $A_1, \dots, A_r$, причем некоторые из них могут встретиться в комбинации друг с другом. Тогда в качестве различных диагнозов D_i следует рассматривать отдельные состояния $D_1 = A_1, \dots, D_r = A_r$ и их комбинации $D_{r+1} = A_1 \wedge A_2, \dots$ и т. п.

Перейдем к определению $P(K^*/D_i)$. Если комплекс признаков состоит из v признаков, то

$$P(K^*/D_i) = P(k_1^*/D_i)P(k_2^*/k_1^*D_i)\dots P(k_v^*/k_1^* \dots k_{v-1}^*D_i), \quad (9)$$

где $k_j^* = k_{js}$ — разряд признака, выявившийся в результате обследования. Для диагностически независимых признаков

$$P(K^*/D_i) = P(k_1^*/D_i) P(k_2^*/D_i) \dots P(k_v^*/D_i). \quad (10)$$

В большинстве практических задач, особенно при большом числе признаков, можно принимать условие независимости признаков даже при наличии существенных корреляционных связей между ними.

Вероятность появления комплекса признаков K^*

$$P(K^*) = \sum_{s=1}^n P(D_s)P(K^*/D_s). \quad (11)$$

Обобщенная формула Байеса может быть записана так:

$$P(D_i/K^*) = \frac{P(D_i)P(K^*/D_i)}{\sum_{s=1}^n P(D_s)P(K^*/D_s)} \quad (12)$$

где $P(K^*/D_i)$ определяется равенством (9) или (10). Из соотношения (12) вытекает

$$\sum_{i=1}^n P(D_i/K^*) = 1, \quad (13)$$

что, разумеется, и должно быть, так как один из диагнозов обязательно реализуется, а реализация одновременно двух диагнозов невозможна.

Следует обратить внимание на то, что знаменатель формулы Байеса для всех диагнозов одинаков. Это позволяет сначала определить вероятности совместного появления i -го диагноза и данной реализации комплекса признаков

$$P(D_i K^*) = P(D_i)P(K^*/D_i) \quad (14)$$

и затем апостериорную вероятность диагноза

$$P(D_i/K^*) = P(D_i K^*) / \sum_{s=1}^n P(D_s K^*). \quad (15)$$

Иногда целесообразно использовать предварительное логарифмирование формулы (12), так как выражение (10) содержит произведения малых величин.

Если реализация некоторого комплекса признаков K^* является *детерминирующей* для диагноза D_p , то этот комплекс не встречается при других диагнозах:

$$P(K^*/D_s) = \begin{cases} 0 & \text{при } s \neq p; \\ \neq 0 & \text{при } s = p. \end{cases}$$

Тогда, в силу равенства (12)

$$P(D_s / K^*) = \begin{cases} 0 & \text{при } s \neq p; \\ 1 & \text{при } s = p. \end{cases} \quad (16)$$

Таким образом, детерминистская логика установления диагноза является частным случаем вероятностной логики. Формула Байеса может использоваться и в том случае, когда часть признаков имеет дискретное распределение, а другая часть — непрерывное. Для непрерывного распределения используются плотности распределения. Однако в расчетном плане указанное различие признаков несущественно, если задание непрерывной кривой осуществляется с помощью совокупности дискретных значений.

Перечень вопросов для проверки подготовленности к практическому занятию:

- 1) Задача технической диагностики (вербальная формулировка).
- 2) Состояние РЭС.
- 3) Распознавание состояния системы.
- 4) Математическая постановка задачи технической диагностики.
- 5) Два основных подхода к задаче распознавания состояния РЭС.
- 6) Сущность метода Байеса.
- 7) Обобщенная формула Байеса (апостериорная вероятность диагноза).

- 8) Порядок определения вероятности диагноза (априорная вероятность диагноза).
- 9) Порядок определения условной вероятности появления признака k_j у объектов с состоянием D_i .
- 10) Порядок определения вероятности появления признака k_j во всех объектах независимо от состояния (диагноза) объекта.

Содержание практической работы в ходе занятия

Описание рабочего оборудования:

Электронные лаборатории на IBM PC, оснащенные программами:

- Microsoft Word для оформления отчетов по практическому занятию;
- Mathcad Professional 15.0 для автоматизации математических расчетов.

Требования безопасности при выполнении работы:

- К проведению практического занятия допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.
- Включение компьютеров осуществляется только с разрешения преподавателя.
- При проведении практического занятия не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.
- Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов рабочего оборудования (компьютеров).
- При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование (компьютер) от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.
- При возгорании оборудования (компьютера) его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.
- По окончании работы с оборудованием (компьютерами) его необходимо выключить установленным порядком.

Задания для работы по первому учебному вопросу:

Базового уровня:

- 1) Решить задачу технической диагностики состояния детекторного приемника, определив вероятности его исправного и неисправного состояния с помощью метода Байеса на основе статистических данных полученных в процессе эксплуатации.

Повышенного уровня:

- 2) Решить задачу технической диагностики состояния приемника прямого усиления, определив вероятности его исправного и неисправного состояния с помощью метода Байеса на основе статистических данных полученных в процессе эксплуатации.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Решить задачу технической диагностики состояния детекторного приемника, определив вероятности его исправного и неисправного состояния с помощью метода Байеса на основе статистических данных полученных в процессе эксплуатации.

Исходные данные для выполнения индивидуальных заданий по заданным вариантам представлены в таблице 3.

Таблица 1 – Исходные данные для решения задания 1.

Вариант №	Диагноз			Вариант №	Диагноз		
	D1	D2	D3		D1	D2	D3
1	0,06	0,19	0,75	11	0,07	0,25	0,68
2	0,08	0,16	0,76	12	0,1	0,26	0,64
3	0,06	0,17	0,77	13	0,11	0,27	0,62
4	0,04	0,18	0,78	14	0,12	0,28	0,6
5	0,07	0,19	0,74	15	0,13	0,29	0,58

6	0,03	0,2	0,77	16	0,14	0,3	0,56
7	0,09	0,21	0,7	17	0,15	0,31	0,54
8	0,02	0,22	0,76	18	0,16	0,32	0,52
9	0,08	0,23	0,69	19	0,17	0,33	0,5
10	0,05	0,24	0,71	20	0,18	0,34	0,48

Постановка задачи:

Пусть при контроле за детекторным радиоприемником наблюдаются два признака: k_1 – увеличение коэффициента гармонических искажений, k_2 – приемник не настраивается на нужную частоту. Для данного типа радиоприемников характерно появление этих признаков либо с неисправностью диода (состояние D_1), либо с неисправностью подстроечного конденсатора (состояние D_2).

При нормальном состоянии радиоприемника (состояние D_3), признак k_1 не наблюдается, признак k_2 – наблюдается в 5% случаев. На основании статистических данных, полученных в процессе эксплуатации) известно, что 80% приемников вырабатывают ресурс в нормальном состоянии, 5% приемников имеют состояние D_1 и 15% - состояние D_2 . Известно также, что признак k_1 встречается при состоянии D_1 в 20% , а при состоянии D_2 в 40% случаев; признак k_2 при состоянии D_1 встречается в 30%, а при состоянии D_2 - в 50% случаев. Эти данные сведены в диагностическую таблицу 2.

Таблица 2 – Вероятности признаков и априорные вероятности состояний

D_i	$P(k_1/D_i)$	$P(k_2/D_i)$	$P(D_i)$
D_1	0,2	0,3	0,05
D_2	0,4	0,5	0,15
D_3	0,0	0,05	0,80

Определить вероятности состояний детекторного приемника для следующих ситуаций: 1) когда обнаружены оба признака, 2) когда наблюдается только второй признак, 3) когда не обнаружен ни один признак. Результаты расчетов свести в таблицу.

Пример расчета в системе Mathcad Professional 15.0:

$D1 := 0.05$ неисправность диода

$D2 := 0.15$ неисправность подстроечного конденсатора

$D3 := 0.8$ нормальное состояние приемника

$D1k1 := 0.2$

$D1k2 := 0.3$

$D2k1 := 0.4$ Статистические данные

$D2k2 := 0.5$

$D3k2 := 0.05$

$D3k1 := 0$

Расчет вероятности состояния, когда обнаружены оба признака (диагноз $D1$):

$$PD1k1k2 := \frac{D1 \cdot D1k1 \cdot D1k2}{D1 \cdot D1k1 \cdot D1k2 + D2 \cdot D2k1 \cdot D2k2 + D3 \cdot D3k1 \cdot D3k2} = 0.091$$

Расчет вероятности состояния, когда обнаружены оба признака (диагноз $D2$):

$$PD2k1k2 := \frac{D2 \cdot D2k1 \cdot D2k2}{D2 \cdot D2k1 \cdot D2k2 + D1 \cdot D1k1 \cdot D1k2 + D3 \cdot D3k1 \cdot D3k2} = 0.909$$

Расчет вероятности состояния, когда обнаружены оба признака (диагноз $D3$):

$$PD3k1k2 := \frac{D3 \cdot D3k1 \cdot D3k2}{D3 \cdot D3k1 \cdot D3k2 + D1 \cdot D1k1 \cdot D1k2 + D2 \cdot D2k1 \cdot D2k2} = 0$$

Расчет вероятностей отсутствия признака k1 для всех диагнозов:

$$D1k1p := 1 - D1k1 = 0.8$$

$$D2k1p := 1 - D2k1 = 0.6$$

$$D3k1p := 1 - D3k1 = 1$$

Расчет вероятности состояния, когда обнаружены только 2-й признак (диагноз D1):

$$PD1k2 := \frac{D1 \cdot D1k1p \cdot D1k2}{D1 \cdot D1k1p \cdot D1k2 + D2 \cdot D2k1p \cdot D2k2 + D3 \cdot D3k1p \cdot D3k2} = 0.124$$

Расчет вероятности состояния, когда обнаружены только 2-й признак (диагноз D2):

$$PD2k2 := \frac{D2 \cdot D2k1p \cdot D2k2}{D2 \cdot D2k1p \cdot D2k2 + D1 \cdot D1k1p \cdot D1k2 + D3 \cdot D3k1p \cdot D3k2} = 0.464$$

Расчет вероятности состояния, когда обнаружены только 2-й признак (диагноз D3):

$$PD3k2 := \frac{D3 \cdot D3k1p \cdot D3k2}{D3 \cdot D3k1p \cdot D3k2 + D1 \cdot D1k1p \cdot D1k2 + D2 \cdot D2k1p \cdot D2k2} = 0.412$$

Расчет вероятностей отсутствия признака k2 для всех диагнозов:

$$D1k2p := 1 - 0.3 = 0.7$$

$$D2k2p := 1 - 0.5 = 0.5$$

$$D3k2p := 1 - 0.05 = 0.95$$

Расчет вероятности состояния, когда не обнаружен ни один признак (диагноз D1):

$$PD1 := \frac{D1 \cdot D1k1p \cdot D1k2p}{D1 \cdot D1k1p \cdot D1k2p + D2 \cdot D2k1p \cdot D2k2p + D3 \cdot D3k1p \cdot D3k2p} = 0.034$$

Расчет вероятности состояния, когда не обнаружен ни один признак (диагноз D2):

$$PD2 := \frac{D2 \cdot D2k1p \cdot D2k2p}{D2 \cdot D2k1p \cdot D2k2p + D1 \cdot D1k1p \cdot D1k2p + D3 \cdot D3k1p \cdot D3k2p} = 0.054$$

Расчет вероятности состояния, когда не обнаружен ни один признак (диагноз D3):

$$PD3 := \frac{D3 \cdot D3k1p \cdot D3k2p}{D3 \cdot D3k1p \cdot D3k2p + D2 \cdot D2k1p \cdot D2k2p + D1 \cdot D1k1p \cdot D1k2p} = 0.912$$

Результаты расчетов свести в таблицу 3. Сделать выводы о том, как влияет износ определенного элемента на работу детекторного радиоприемника.

Таблица 3 – Апостериорные вероятности состояний радиоприемника

D_i	$P(D_i/k_{1k2})$	$P(D_i/k_2)$	$P(D_i)$
D_1			
D_2			
D_3			

Задание 2. Решить задачу технической диагностики состояния приемника прямого усиления, определив вероятности его исправного и неисправного состояния с помощью метода Байеса на основе статистических данных полученных в процессе эксплуатации.

Исходные данные для выполнения индивидуальных заданий по заданным вариантам представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные для решения задания 2.

Вариант №	Диагноз				
	D1	D2	D3	D4	D5
1	0,06	0,1	0,1	0,07	0,67
2	0,08	0,09	0,11	0,08	0,64
3	0,06	0,08	0,12	0,09	0,65

4	0,04	0,11	0,13	0,1	0,62
5	0,07	0,07	0,14	0,11	0,61
6	0,03	0,12	0,15	0,12	0,58
7	0,09	0,06	0,18	0,13	0,54
8	0,02	0,13	0,2	0,14	0,51
9	0,08	0,11	0,25	0,15	0,41
10	0,05	0,15	0,22	0,16	0,42
11	0,07	0,14	0,15	0,17	0,47
12	0,1	0,13	0,14	0,18	0,45
13	0,11	0,12	0,13	0,19	0,45
14	0,12	0,11	0,12	0,2	0,45
15	0,13	0,1	0,11	0,21	0,45
16	0,14	0,09	0,1	0,22	0,45
17	0,15	0,08	0,04	0,23	0,5
18	0,16	0,07	0,06	0,12	0,59
19	0,17	0,06	0,09	0,17	0,51
20	0,18	0,05	0,08	0,26	0,43

Постановка задачи:

Пусть при контроле за приемником прямого усиления наблюдаются следующие признаки: k_1 – увеличение коэффициента гармонических искажений, k_2 – приемник не настраивается на нужную частоту. Для данного типа радиоприемников характерно появление этих признаков с неисправностью подстроечного конденсатора (состояние D_1), неисправностью катушки индуктивности (состояние D_2), усилителя низкой частоты (состояние D_3), усилителя высокой частоты (состояние D_4).

При нормальном состоянии радиоприемника (состояние D_5), признак k_1 не наблюдается, признак k_2 – наблюдается в 10% случаев. На основании статистических данных известно, что 70% приемников вырабатывают ресурс в нормальном состоянии, 5% приемников имеют состояние D_1 , 10% - состояние D_2 , 8% - состояние D_3 , 7% - состояние D_4 . Известно также, что признак k_1 встречается при состоянии D_1 в 10%, при состоянии D_2 в 5% случаев, при состоянии D_3 в 15% случаев, а при состоянии D_4 в 10% случаев. Признак k_2 при состоянии D_1 встречается в 10% случаев, при состоянии D_2 - в 5% случаев, при состоянии D_3 – в 15% случаев, при состоянии D_4 – в 13% случаев.

Эти статистические данные сведены в диагностическую таблицу 5.

Таблица 5 – Вероятности признаков и априорные вероятности состояний

D_i	$P(k_1/D_i)$	$P(k_2/D_i)$	$P(D_i)$
D_1	0,1	0,17	0,05
D_2	0,2	0,2	0,1
D_3	0,12	0,15	0,08
D_4	0,18	0,13	0,07
D_5	0	0,1	0,7

Определить вероятности состояний приемника прямого усиления для следующих ситуаций: 1) когда обнаружены оба признака, 2) когда наблюдается только второй признак, 3) когда не обнаружен ни один признак.

Результаты расчетов свести в таблицу 6. Сделать выводы о том, как влияет износ определенного элемента на работу приемника прямого усиления.

Таблица 6. Апостериорные вероятности состояний радиоприемника

D_i	$P(D_i/k_{1k2})$	$P(D_i/k_2)$	$P(D_i)$
D_1			
D_2			
D_3			
D_4			
D_5			

Задание повышенного уровня выполняется самостоятельно.

Заключение

Оформить результаты работы в виде отчета с выполненными практическими заданиями и представить его на проверку.

В отчете отобразить:

- тему и цель работы, расчетные задания;
- листинги составленных в Mathcad Professional программ;
- результаты расчетов (таблицы с результатами расчетов);
- выводы по результатам проделанной работы и выполнения заданий.

**Практическое занятие разработано
доцентом кафедры инфокоммуникаций,
кандидатом технических наук, доцентом, профессором РАЕ
К.М. Сагдеевым**

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

Тема:

РАСЧЁТ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ РЭС

Время– 2 учебных часов.

Целевая установка практического занятия:

В ходе практического занятия студенты должны овладеть следующими умениями и навыками:

- осуществлять эксплуатацию систем связи путем умения рассчитывать показатели ремонтпригодности и надежности восстанавливаемых радиоэлектронных средств (ПК-6);
- выполнять расчеты показателей ремонтпригодности и надежности восстанавливаемых радиоэлектронных средств при подготовке к проведению плановых профилактических (ремонтных) работ на действующем оборудовании систем связи. (ПК-6);
- применять рассчитанные показатели ремонтпригодности и надежности восстанавливаемых радиоэлектронных средств для обоснования необходимости проведения профилактических (ремонтных) работ с целью обеспечения соответствия технических параметров РЭС установленным эксплуатационно-техническим нормам (ПК-7).

Учебно-материальное обеспечение:

- 1) Электронные лаборатории на IBM PC, из расчета 1 компьютер на 1 – 2 человека, оснащенные программами:
 - Microsoft Word для оформления отчетов по практическому занятию;
 - Mathcad Professional 15.0 для автоматизации математических расчетов.
- 2) Методическая разработка к практическому занятию по дисциплине Техническое обеспечение систем связи: [Электронный ресурс].

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

Краткие теоретические или справочно-информационные материалы

Основные формулы для расчёта ремонтпригодности

В начале расчёта ремонтпригодности определяют условную вероятность отказа элементов i -ой группы или простейшем потоке отказов

$$q_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^m \lambda_i}, \quad (1)$$

где λ_i – интенсивность отказов элементов i -ой группы; m - число групп элементов в аппаратуре.

Затем находят среднее время ремонта:

$$T_p = \sum_{i=1}^m q_i * T_{pi}, \quad (2)$$

где T_{pi} – активное время ремонта при отказе элемента i -ой группы

Это время складывается из среднего времени поиска неисправного элемента t_{0i} , среднего времени замены элемента t_{3i} и среднего времени проверки исправности аппаратуры после замены отказавшего элемента $t_{пр}$

$$T_{pi} = t_{0i} + t_{3i} + t_{пр}, \quad (3)$$

По точности и достоверности метод расчёта оценок времени ремонта зависит от закона распределения времени ремонта. Как правило, это распределение экспоненциальное или Эрланга. Средняя продолжительность ремонта определяется по формуле:

$$T_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{pi}}{n}, \quad (4)$$

где T_{pi} – среднее время ремонта при i -ом отказе; n - число отказов

Эта формула менее точно, чем формула (2), так как в ней все отказы считают равновероятными. Если аппаратура модульного типа и ремонт производят заменой модуля, то закон распределения времени ремонта- экспоненциальный:

$$f(t_P) = \frac{1}{T_P} \exp\left(-\frac{t_P}{T_P}\right), \quad (5)$$

При экспоненциальном распределении верхнюю T_{PB} и нижнюю T_{PH} границы времени ремонта находят из выражений:

$$T_{PH} = T_P * r_2, \quad (6)$$

$$T_{PB} = T_P * r_1, \quad (7)$$

Коэффициенты r_1 и r_2 , связанные с квантилями распределения χ^2 Пирсона, можно определить из таблицы 1 в зависимости от значений n и доверительной вероятности $P(\epsilon)$.

Таблица 1 – Значения коэффициентов r_1 и r_2

№	Вероятность $P(\epsilon)$							
	r_1				r_2			
	0.99	0.95	0.9	0.8	0.99	0.95	0.9	0.8
2	13.5	5.63	3.77	2.42	0.3	0.42	0.51	0.69
4	4.35	2.93	2.29	1.74	0.4	0.52	0.6	0.73
6	3.36	2.29	1.9	1.54	0.46	0.87	0.65	0.76
8	2.75	2.01	1.72	1.43	0.5	0.61	0.6	0.78
10	2.42	1.83	1.61	1.37	0.53	0.64	0.7	0.8
15	2.01	1.62	1.46	1.28	0.59	0.68	0.74	0.83
20	1.81	1.51	1.37	1.24	0.63	0.72	0.77	0.85
50	1.43	1.28	1.21	1.14	0.74	0.8	0.84	0.89
100	1.28	1.19	1.14	1.09	0.8	0.86	0.88	0.92
250	1.17	1.11	1.09	1.0	0.87	0.9	0.92	0.95
500	1.11	1.08	1.06	1.04	0.89	0.92	0.94	0.96

При поиске отказов вручную время текущего ремонта, как правило, распределено по закону Эрланга:

$$f(t_P) = \left(\frac{4t_P}{T_P^2}\right) \exp\left(\frac{-2t_P}{T_P}\right), \quad (8)$$

При распределении Эрланга:

$$T_{PH} = T_P / \delta_2, \quad (9)$$

$$T_{PB} = T_P / \delta_1, \quad (10)$$

Значение коэффициентов δ_1 и δ_2 можно определить из таблицы (2) в зависимости от значений n и доверительной вероятности $P(\epsilon)$.

Таблица 2 – Значение коэффициентов δ_1 и δ_2

№	Вероятность $P(\epsilon)$							
	δ_1				δ_2			
	0.99	0.95	0.9	0.8	0.99	0.95	0.9	0.8
4	0.362	0.500	0.581	0.700	2.00	1.64	1.47	1.28
8	0.464	0.620	0.688	0.785	1.66	1.43	1.34	1.20
10	0.473	0.650	0.713	0.813	1.53	1.35	1.29	1.19
15	0.570	0.700	0.766	0.850	1.43	1.30	1.23	1.15
20	0.629	0.740	0.800	0.870	1.37	1.26	1.20	1.13
30	0.697	0.788	0.835	0.892	1.30	1.22	1.16	1.11
50	0.765	0.830	0.870	0.916	1.23	1.17	1.13	1.08
100	0.835	0.880	0.910	0.940	1.16	1.12	1.09	1.06
250	0.895	0.923	0.944	0.962	1.10	1.07	1.06	1.04
500	0.928	0.950	0.960	0.974	1.07	1.05	1.04	1.03

Перечень вопросов для проверки подготовленности к практическому занятию:

- 1) Выражение для нахождения среднего времени ремонта.
- 2) Характеристика слагаемых среднего времени ремонта.
- 3) Средняя продолжительность ремонта в случае экспоненциального распределения и распределения Эрланга.
- 4) Экспоненциальный закон распределения времени ремонта.
- 5) Определение доверительных границ времени ремонта по экспоненциальному закону.
- 6) Распределения времени ремонта по закону Эрланга.
- 7) Определение доверительных границ времени ремонта по закону Эрланга.
- 8) Основы теории ремонтпригодности РЭА (из лекционного курса).

Содержание практической работы в ходе занятия

Описание рабочего оборудования:

Электронные лаборатории на IBM PC, оснащенные программами:

- Microsoft Word для оформления отчетов по практическому занятию;
- Mathcad Professional 15.0 для автоматизации математических расчетов.

Требования безопасности при выполнении работы:

- К проведению практического занятия допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.
- Включение компьютеров осуществляется только с разрешения преподавателя.
- При проведении практического занятия не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.
- Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов рабочего оборудования (компьютеров).
- При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование (компьютер) от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.
- При возгорании оборудования (компьютера) его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.
- По окончании работы с оборудованием (компьютерами) его необходимо выключить установленным порядком.

Задания для работы по первому учебному вопросу

Базового уровня:

- 1) Определить доверительный интервал времени ремонта T_p с заданной доверительной вероятностью $P(\epsilon)$ при экспоненциальном распределении времени ремонта при условии, что в системе связи возникло n отказов, а на ее восстановление работоспособности было затрачено T_{Σ} часов.
- 2) Определить среднее значение суммарного времени ремонта линии связи и доверительный интервал $I(\epsilon)$ с заданной вероятностью $P(\epsilon)$ за заданное время эксплуатации T_{Σ} час при заданных исходных данных.
- 3) Определить время ремонта устройства и доверительный временной интервал при заданной вероятности $P(\epsilon) = 0.9$, если распределение времени ремонта подчиняется закону Эрланга, при условии что задано распределение отказов по типовым группам элементов и суммарное время их ремонта по каждой группе.

Повышенного уровня:

- 4) Определить доверительный интервал времени ремонта T_p с доверительной вероятностью $P(\epsilon)$ при заданном законе распределения времени ремонта при условии, что из 50 ремонтируемых устройств, поставленных на испытание, отказало n устройств, при этом заданы

численные значения исходных величин, и учитывая что общее время на восстановление работоспособности 40 час.

5) Определить объём испытаний n при условии, что оценка среднего времени ремонта с вероятностью $P(\epsilon)$ не отличалась бы от верхней доверительной границы более чем в k раз при заданном законе распределения времени ремонта, при условии, что известны вид закона и численные значения исходных величин.

Задания повышенного уровня выполняются самостоятельно. Безошибочное решение всех 5-х заданий оценивается оценкой отлично. При безошибочном решении только 3-х заданий базового уровня выставляется оценка удовлетворительно. За безошибочное выполнение 3-х заданий базового уровня и одного повышенного уровня выставляется оценка хорошо. Наличие ошибки при выполнении задания приводит к снижению оценки на один балл.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Определить доверительный интервал времени ремонта T_P с заданной доверительной вероятностью $P(\epsilon)$ при экспоненциальном распределении времени ремонта при условии, что в системе связи возникло n отказов, а на ее восстановление работоспособности было затрачено $T\Sigma$ ч.

Исходные данные для выполнения индивидуальных заданий по заданным вариантам представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для решения задания 1.

Варианты	Кол-во отказов, n	Доверительная вероятность, $P(\epsilon)$	Общее время, затраченное на восстановление работоспособности, $T\Sigma$, ч
1	2	0,99	21
2	2	0,95	22
3	4	0,99	43
4	4	0,95	44
5	6	0,99	55
6	6	0,95	56
7	8	0,99	67
8	8	0,95	68
9	10	0,99	79
10	10	0,95	80
11	15	0,99	91
12	15	0,95	92
13	20	0,99	103
14	20	0,95	104
15	50	0,99	115
16	50	0,95	116
17	100	0,99	127
18	100	0,95	128
19	250	0,99	139
20	250	0,95	140

Пример расчета:

- 1) Определяется средняя продолжительность одного ремонта:

$$T_P = \frac{T\Sigma}{n},$$

- 2) По заданным значениям n и $P(\epsilon)$ из табл. 1 выбираются значения коэффициентов r_1 и r_2 .

- 3) Вычисляются доверительные границы времени ремонта:

$$T_{PH} = T_P \cdot r_2, \quad T_{PB} = T_P \cdot r_1$$

4) Определяется доверительный интервал $I(\epsilon)$, как $T_{PH} \dots T_{PB}$.

Задание 2. В непрерывно работающей двухканальной линии связи интенсивность отказа λ и время ремонта канала имеют экспоненциальное распределение с параметром $\lambda = 10^{-2}$ 1/ч и интенсивностью ремонта $\mu = 1$ 1/ч. Для восстановления имеется одна бригада. Вероятность отказа двух каналов одновременно $P_{1,2} = 0.25$. Ремонт отказавшего канала требует выключения всей линии. Определить среднее значение суммарного времени ремонта линии связи и доверительный интервал $I(\epsilon)$ с заданной вероятностью $P(\epsilon)$ за заданное время эксплуатации T_{Σ} час.

Исходные данные для выполнения индивидуальных заданий по заданным вариантам представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные для решения задания 2.

Варианты	Доверительная вероятность, $P(\epsilon)$	время эксплуатации T_{Σ} час	Варианты	Доверительная вероятность, $P(\epsilon)$	время эксплуатации T_{Σ} час
1	0,99	2050	11	0,99	2550
2	0,95	2100	12	0,95	2600
3	0,99	2150	13	0,99	2650
4	0,95	2200	14	0,95	2700
5	0,99	2250	15	0,99	2750
6	0,95	2300	16	0,95	2800
7	0,99	2350	17	0,99	2850
8	0,95	2400	18	0,95	2900
9	0,99	2450	19	0,99	2950
10	0,95	2500	20	0,95	3000

Дополнительные исходные данные:

а) для нечетных вариантов: $\lambda = 10^{-2}$ 1/ч, $\mu = 1$ 1/ч.

б) для четных вариантов: $\lambda = 2 \cdot 10^{-2}$ 1/ч, $\mu = 0,5$ 1/ч.

Пример расчета:

1) Найти наработку на отказ одного канала при заданной λ :

$$T_0 = 1/\lambda,$$

2) Определить количество отказов в одном из каналов ($n_1 + n_2$), суммарное количество отказов в каналах (n_{Σ}) и количество отказов одновременно в двух каналах ($n_{1,2}$) при $P_{12} = 0,25$:

$$n_1 = n_2 = T_{\Sigma}/T_0,$$

$$n_{\Sigma} = n_1 + n_2,$$

$$n_{1,2} = n_{\Sigma} \cdot P_{12},$$

3) Определить среднее время ремонта:

25% всех отказавших изделий ($n_{1,2}$) восстанавливаются поочерёдно за время:

$$T_{P12} = \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\mu},$$

Остальные 75% отказавших изделий ($N_1 = n_{\Sigma} - n_{1,2}$) восстанавливают поочерёдно за время:

$$T_{P1} = 1/\mu,$$

Среднее время ремонта линии связи:

$$T_p = \frac{T_{P1} \cdot N_1 + T_{P12} \cdot n_{1,2}}{n_{\Sigma}}.$$

4) Определить доверительные границы:

$$T_{PH} = T_p \cdot r_2,$$

$$T_{PB} = T_p \cdot r_1,$$

5) Определить доверительный интервал $I(\epsilon)$, как $T_{PH} \dots T_{PB}$.

Задание 3. *Определить среднее время ремонта устройства и доверительный интервал, если распределение времени ремонта подчиняется закону Эрланга*

При эксплуатации устройства было зарегистрировано некоторое количество отказов, распределенных по группам элементов определенным образом (см. табл. 5). Известны суммарные времена, затраченные на ремонт по группам элементов (см. табл. 5) Определить время ремонта устройства и доверительный временной интервал при заданной вероятности $P(\epsilon) = 0.9$, если распределение времени ремонта подчиняется закону Эрланга.

Исходные данные для выполнения индивидуальных заданий по заданным вариантам представлены в таблице 5, где m – номер студента по списку журнале.

Таблица 5 – Исходные данные для решения задания 3.

Группы элементов	Количество отказов по группе n_i	Суммарное время ремонта по группе Tr_i , час
1. Полупроводниковые приборы	$m+6$	4560
2. Оптоэлектронные приборы	$m+10$	4300
3. Микромодули	$m+4$	1020
4. Резисторы и конденсаторы	$m+7$	4620
5. Прочие элементы	$m+3$	3660

Пример расчета:

1) Определить общее количество отказов N , как сумму всех отказов по группам элементов:

$$N = \sum_i n_i.$$

2) Определить вес отказов по каждой группе:

$$p_i = \frac{n_i}{N}.$$

3) Определим среднее время ремонта:

- для полупроводниковых приборов:

$$T_{P1} = \frac{T_{p1}}{n_1},$$

- для оптоэлектронных приборов:

$$T_{P2} = \frac{T_{p2}}{n_2},$$

- для микромодулей:

$$T_{P3} = \frac{T_{p3}}{n_3},$$

- для резисторов и конденсаторов:

$$T_{P4} = \frac{T_{p4}}{n_4},$$

- для прочих элементов:

$$T_{P5} = \frac{T_{p5}}{n_5}.$$

4) Рассчитайте среднее время ремонта устройства:

$$T_P = \sum_{i=1}^5 T_{Pi} \cdot p_i.$$

5) Из таблицы 2 при полученном N и $P(\epsilon) = 0.9$ выбрать нижнюю и верхнюю доверительные границы времени ремонта δ_2 и δ_1 .

$$T_{PH} = \frac{T_P}{\delta_2}, T_{PB} = \frac{T_P}{\delta_1}.$$

6) Определить доверительный интервал $I(\epsilon)$.

Задание повышенного уровня

Задание 4. На испытание было поставлено 50 ремонтируемых устройств. За время испытаний отказало n устройств. Определить среднее время ремонта T_P и доверительный интервал времени ремонта с доверительной вероятностью $P(\epsilon)$ при заданном законе распределения времени ремонта, учитывая что общее время на восстановление работоспособности 40 час.

Общие исходные данные: Время ремонта T_{Pi} в часах составило: $T_{P1} = 4$; $T_{P2} = 3.7$; $T_{P3} = 3.9$; $T_{P4} = 5.2$; $T_{P5} = 3.4$; $T_{P6} = 3.2$; $T_{P7} = 4.7$; $T_{P8} = 4.2$; $T_{P9} = 4.5$; $T_{P10} = 5.3$; $T_{P11} = 3.1$; $T_{P12} = 4.4$; $T_{P13} = 4.8$; $T_{P14} = 3.8$; $T_{P15} = 4.6$.

Численные и качественные значения исходных величин для расчёта даны в таблице 6 и зависят от номера варианта.

Таблица 6 – Исходные данные для решения задания 4.

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$P(\epsilon)$	0,99	0,95	0,9	0,8	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95
Распределение по закону Эрланга										

Варианты	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
n	15	14	12	11	10	9	8	7	6	5
$P(\epsilon)$	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95
Распределение по экспоненциальному закону										

Задание повышенного уровня выполняется самостоятельно.

Задание 5. Определить объём испытаний n при условии, что оценка среднего времени ремонта с вероятностью $P(\epsilon)$ не отличалась бы от верхней доверительной границы более чем в k раз при заданном законе распределения времени ремонта, при условии, что известны вид закона и численные значения исходных величин.

Численные и качественные значения исходных величин для расчёта даны в таблице 7 и зависят от номера варианта.

Таблица 7 – Исходные данные для решения задания 5.

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,65	1,7	1,75	1,8	1,85
$P(\epsilon)$	0,99	0,95	0,9	0,8	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95
Распределение по закону Эрланга										

Варианты	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
k	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,65	1,7	1,75	1,8	1,85
$P(\epsilon)$	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95
Распределение по экспоненциальному закону										

Задание повышенного уровня выполняется самостоятельно.

Заключение

Оформить результаты работы в виде отчета с выполненными практическими заданиями и представить его на проверку.

В отчете отобразить:

- тему и цель работы, расчетные задания;
- листинги составленных в Mathcad Professional программ;
- результаты расчетов (таблицы с результатами расчетов);
- выводы по результатам проделанной работы и выполнения заданий.

Практическое занятие разработано
доцентом кафедры инфокоммуникаций,
кандидатом технических наук, доцентом, профессором РАЕ
К.М. Сагдеевым

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

Тема: Документальное оформление мероприятий по планированию и учету эксплуатации техники связи.

Время – 2 учебных часа.

ЦЕЛЕВАЯ УСТАНОВКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ:

В рамках изучения студенты научатся правильно оформлять документы по техническому обслуживанию и ввести оперативный журнал.

СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Вводная часть

Система технической эксплуатации (СТЭ) первичной сети оператора связи - это совокупность методов и алгоритмов технического обслуживания объектов технической эксплуатации первичной сети, комплекса технических средств связи и программно - технических средств, а также технический персонал, обеспечивающие функционирование первичной сети с требуемыми качественными показателями.

Основными задачами СТЭ первичной сети являются:

- обеспечение устойчивого функционирования первичных сетей при заданном качестве и эксплуатационной надежности трактов и каналов передачи;
- эффективное использование ресурсов первичных сетей в интересах вторичных сетей и других пользователей при любых изменениях состояния сети;
- дальнейшее развитие первичных сетей, включая реконструкцию узлов, станций и линий передачи, для удовлетворения потребностей хозяйственных структур и населения;
- совершенствование первичных сетей, методов технической эксплуатации, улучшение эксплуатационных характеристик аппаратуры, оборудования, трактов и каналов передачи

СТЭ первичной сети должна строиться по территориально - иерархическому принципу с числом иерархических уровней, определяемым конкретными условиями технической эксплуатации и масштабами обслуживаемой сети.

На всех иерархических уровнях СТЭ могут функционировать:

- системы оперативно - технического обслуживания (СОТО) - для аналоговых и цифровых первичных сетей, организованных на основе ЦСП ПЦИ;
- центры технической эксплуатации (ЦТЭ) - для цифровых первичных сетей, организованных на основе ЦСП СЦИ.

Эти и другие структуры технической эксплуатации должны организовываться на основе технических служб операторов сетей.

Техническое обслуживание аппаратуры, оборудования, трактов и каналов передачи первичных сетей должно производиться в соответствии с действующими нормативно - техническими документами (НТД), включающими методы и алгоритмы технического обслуживания и другие инструкции по технической эксплуатации.

Производственная документация по технической эксплуатации воздушных линий передачи подразделяется на оперативно-техническую и техническую.

К оперативно-технической документации относятся:

- протоколы измерений технических параметров цепей воздушных линий связи, кабельных вставок и вводов;
- протоколы и журналы измерений параметров устройств защиты от влияния внешних электромагнитных полей;
- журналы оперативного учета повреждений междугородных воздушных линий передачи (ф.ЛК-19);
- карточки первичного учета (ф.ЛК-10);

- акты и материалы расследования аварий на междугородных воздушных линиях передачи;
- документация по охране воздушных линий передачи.

К технической документации относятся:

- линейные паспорта;
- паспорта на оборудование и механизмы;
- графики профилактического осмотра и выполнения работ АПГ (УЭМ);
- маршрутные листы по осмотру линейных сооружений междугородных воздушных линий передачи и их охранных зон;
- планы-задания на производство работ по ремонту линейных сооружений междугородных воздушных линий передачи;
- протоколы измерений сопротивления заземлений;
- ведомственные нормативно-технические документы (ОСТ, технические условия, правила, инструкции, руководящие документы и т.п.).

На предприятии должна быть заведена и храниться следующая производственная документация:

- акты и материалы расследования аварий линейных сооружений воздушных линий передачи;
- отчеты о повреждаемости на линиях передачи (ф.10-л);
- схема воздушных линий передачи;
- протоколы измерений электрических параметров цепей;
- протоколы и журналы измерений параметров устройств защиты от влияния внешних электромагнитных полей;
- линейные паспорта;
- технические условия и документация по согласованию технических проектов на производство работ в охранных зонах линий связи и переустройство линейных сооружений.

Оперативный журнал - применяется для оформления записей оперативно-диспетчерского характера.

При записях в оперативном журнале рекомендуется соблюдать следующие правила: записи ведутся в хронологическом порядке только чернилами или пастой синего, фиолетового или черного цвета и должны быть четкими, ясными, без помарок и подчисток. В случае ошибки неправильная запись берется в скобки и зачеркивается нежирной чертой (так, чтобы ее можно было прочитать), а рядом делается правильная запись. При обнаружении пропущенной записи она выполняется на свободном месте и ставится время, когда произошло фиксируемое событие. Перед записью следует отметить: "Пропущенная запись, запрещается делать записи на полях и между строк. Пропущенные незаполненные строки прочеркиваются "зигзагом";

Таблица 1. Бланк оперативного журнала.

Дата и время записи	Содержание записей в течение смены; подписи о сдаче и приемке смены	Визы, замечания и распоряжения технического персонала
1	2	3

В графе 1 журнала проставляются дата (число, месяц, год) и время (ч, мин) производства операции.

В графе 2 записывается сущность произведенной операции.

В графе 3 записываются все оперативные распоряжения руководящего технического персонала, имеющие срок действия не более суток.

Количество оперативных журналов устанавливается в зависимости от состава оборудования и принятой схемы оперативного обслуживания.

Заполненные оперативные журналы хранятся в течение 3 лет.

Таблица 4. Форма формуляра на примере радиоприемника. Пустой бланк “Сведения о земле составных частей радиодеталей за время эксплуатации”.

№ п.п.	Снятая часть				Вновь установленная часть		Дата и должность, ответственног о за проведение замены
	Наименовани е и обозначение	Заводско й номер	Число отработанны х часов	Причин а выхода из строя	Наименовани е и обозначение	Заводско й номер	

СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Вводная часть

Содержание практической работы, выполняемой студентами в ходе занятия

1. Описание лабораторного оборудования:

- ПЭВМ на каждого обучающегося;
- Любой графический редактор.;

2. Требования безопасности при выполнении работы:

1) К проведению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.

2) Включение лабораторных установок (компьютеров) осуществляется только с разрешения преподавателя.

3) При проведении лабораторной работы не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.

4) Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов лабораторных установок (компьютеров).

5) При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.

6) При возгорании оборудования его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.

7) По окончании работы с лабораторным оборудованием (компьютерами) его необходимо выключить установленным порядком.

Задание 1. Заполнение технического документа (ТЗ).

Постановка задачи: В данном задании, необходимо получить и закрепить умения правильного заполнения технического документа на примере ТЗ

Для этого необходимо пользуясь исходными данными (таблицы 5, 6 и 7) и примером (таблица 8) правильно заполнить ТЗ за определенное время , относительно варианта..

Даты начала и окончания работ. Фамилия лица, производившего работы по обслуживанию – как у студента. Фамилию лица, разрешающего пуск оборудования и даты и время ремонта, придумать произвольно.

Таблица 5.Исходные данные для вариантов

Вариант	Месяц начала работ	Месяц окончания работ
1,11	Сентябрь	Декабрь
2,12	Май	Июль
3,13	Июнь	Октябрь
4,14	Январь	Июнь
5,15	Апрель	Сентябрь
6,16	Декабрь	Август
7,17	Август	Февраль
8,18	Октябрь	Март
9,19	Ноябрь	Май
10,20	Август	Декабрь

Таблица 6. График регламентных работ тех-го обслуживания

Месяцы проведения технического обслуживания											
май	июнь	июль	ав-густ	сен-тябрь	октябрь	ноя-брь	декабрь	январь	февраль	март	апрель
P1,P2, P3	P1	P1	P1,P 2	P1	P1	P1, P2, P3	P1	P1	P1,P2	P1	P1

Таблица 7. Перечень операций технического обслуживания.

Наименование операции технического обслуживания	Периодичность		
	регламента №1 (P1)	регламента №2 (P2)	регламента №3 (P3)
-проверка внешнего состояния радиостанции;	+	+	+
-проверка внешнего состояния и чистка радиостанции.			+
-проверка состояния антенных устройств;		+	+
-чистка и смазка антенны.			+
-проверка внешнего состояния, чистка, смазка;	+	+	+
-проверка состояния пробок, сальников и вентильных резиновых колец;			+
-проверка работоспособности		+	+
-проверка эксплуатационной документации;			+

Таблица 8. Пример заполнения ТЗ.

Дата и время начала и окончания ремонта (число, месяц, год, часы, минуты)	Тип регламента	Краткое описание выполненных работ	Подпись лица, производившего работы по обслуживанию	Подпись лица, разрешающего пуск оборудования
4.09.22 13:05 4.09.22 15:40	РЗ	Проверка внешнего состояния и чистка радиостанции.	Иванов А.А.	Кузнецов И.А.

– занести в отчет по лабораторной работе заполненный документ.

Задание 2. Ведение оперативного журнала.

В данном задании, необходимо заполнить оперативный журнал. Постановка задачи: придумать содержание записей, связанных с учетом эксплуатации техники связи, дат и времени производства операций, а также правильно заполнить оперативный журнал. Пример заполненного оперативного журнала указан в таблице 6.

Таблица 9. Пример ведения оперативного журнала.(ППР- планово профилактические работы,РРС- радио релейная станция).

Дата	Вид выполняемых работ	Подпись, Инициалы
06.07.2021	ППР на РРС Alcatel A9470 и дегидратора MT500B ANOREW и замена силикогеля на РУС Нижнесортымский	Панченко А.И.
07.07.2021	ППР на РРС NEC iPasolink 200 на РУС на Ульяновское м/р	Борисов А. И.
28.07.2021	ППР оборудования мультиплексирования Alcatel MUX 1511 и NEC V-Node S на Юкъяунское м/р	Фарфутдинов Н.А. Иванов И.И.
10.08.2021	Демонтаж оборудования широко-полосного доступа InFinet и голосового шлюза AVAYA псвп Северное	
12.08.2021	Монтаж проводной телефонии в общежитии № 23 в поселке Нижнесортымский	Панченко А.И.
20.08.2021	Заполнение актов выполнения ППР, заполнение журналов регистрации ППР на РУС Нижнесортымский	Фарфутдинов Н.А.

– занести в отчет по лабораторной работе заполненный оперативный журнал

Задание 3. Заполнение формуляра.

Постановка задачи: в данном задании необходимо ознакомиться с структурой документа и его данными на примере формуляра радиостанций Р-105М, Р-108М, Р-19М. Для выполнения задания заполнить документы 3, 4 и рис 1. пользуясь исходными данными (таблица 10) и примерами заполнения (таблицы 11,12) Фамилия Зам. главного инженера такая же, как и студента. Даты, фамилия Начальника ОТК, число отработанных часов и заводской номер Начальника ОТК придумать. Фамилия ответственного лица – как у студента. Наименования частей указаны в таблице 8.

Таблица 10. Комплект поставки

№ строки	Обозначение	Наименование	Количество		Примечание
			ИНП 201.091	ИНП 201.095	
7 8	ИП8.639.030-01	б) амортизатор	4	4	
		в) аккумуляторные батареи 2НКП-20У2 или 2НКП-24М	2	2	
	ИП3.842.035	Трубка микротелефонная	1	1	
	ИП4.165.021	Сумка радиста	1	1	
		в ней:			
	ИП2.094.003	а) антенна штыревая	1	1	
	ИП2.423.000	б) лампа переносная	1	1	
	ИП3.842.031	в) гарнитура микротелефонная	1	1	
	ИП4.073.000	г) отвертка малая	1	1	
	ИП4.073.001	д) отвертка большая	1	1	
	ИП4.073.013	е) ключ торцовый для аккумуляторных батарей	1	1	
	ИП4.073.035	ж) отвертка коррекционная	1	1	
		з) противовес	1	1	
	ИП5.098.002				
	ИП5.098.000				
	ИП5.098.017				
	ИП6.126.059	и) секция штыревой антенны	6	6	
		к) лента 15×0,2 ПВХ	25 г	25 г	

№ строки	Обозначение	Наименование	Количество		Примечание
			ИН1.201.091	ИН1.201.095	
9	ИП4.400.010	Ручка для переноски радиостанции	1	1	
10	ИП4.459.000	Амортизатор – подушка	1	1	
11	ИП4.866.002	Фидер РК-75-4-16	1	1	
12	ИП6.137.025	Кронштейн для крепления радиостанции	1	1	
13	ИП6.139.081	Кронштейн бортовой антенны	1	1	
14	ИП6.832.000	Чехол парусиновый	1	1	
		в нем:			
	ИП5.091.000	а) антенна лучевая на рогулке	1	1	
	ИП6.427.000	б) растяжка с уголком	4	4	
	ИП6.855.000	в) стойка верхняя	3	3	
	ИП6.855.001	г) стойка нижняя	3	3	
15	ИП6.834.044	Ремень плечевой левый	1	1	
16	ИП6.834.045	Ремень плечевой правый	1	1	
		Одиночный комплект запасного имущества			
17	ИП2.094.003	Антенна шттыревая	1	1	
18	ИП5.091.000	Антенна лучевая на рогулке	1	1	
19		Противовес	1	1	
	ИП5.098.002				
	ИП5.098.000				
	ИП5.098.017				
20	ИП6.126.059	Секция шттыревой антенны	6	6	
21	ИП6.641.294	Кабель для подключения аккумулятор- ных батарей	2	2	
22	ИП8.639.030-01	Амортизатор	4	4	
23		Аккумуляторные батареи 2НКП-20У2 или 2НКП-24М	2	2	
24		Лампа СМЗ-0,6	3	3	
25		Лампа МН 3,5-0,26	3	3	
		Запасное имущество для аккумуляторных батарей 2НКП-20У			
26		Втулка пробки	2	2	
27		Кольцо пробки	2	2	
28		Гайка М6×0,75	1	1	
29		Шайба	1	1	
30		Пробка в сборе	1	1	
31		Втулка изоляционная или 2НКП-24М	1	1	
32		Втулка пробки	2	2	
33		Кольцо пробки	2	2	
34		Гайка М5	1	1	
35		Пробка в сборе	1	1	

Свидетельство о приемке

Радиостанция соответствует техническим условиям и признана годной к эксплуатации.

Дата выпуска _____

Зам. главного инженера

Начальник ОТК _____

Рисунок 1. Свидетельство о приемке.

Таблица.11. Учет технического обслуживания.

Учет технического обслуживания

Дата	Вид технического обслуживания	Замечания о техническом состоянии	Должность, фамилия и подпись ответственного лица
23.02.21	чистка и смазка антенны.	Состояние в норме	Смирнов В.А.

Таблица 12. Сведения о замене составных частей радиостанции за время эксплуатации.

Сведения о замене составных частей радиостанции за время эксплуатации

№ п.п.	Снятая часть				Вновь установленная часть		Дата и должность, ответственного за проведение замены
	Наименование и обозначение	Заводской номер	Число отработанных часов	Причина выхода из строя	Наименование и обозначение	Заводской номер	
1	Аккумуляторные батареи	12АС5600214	68 ч.	Разрядка	Аккумуляторные батареи	12АС5600214	Смирнов А.Е.

- занести в отчет по лабораторной работе все полученные документы.