

Министерство транспорта Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный
университет путей сообщения»

Кафедра «Оптические системы связи»

Б. И. Давыдов

**РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ**

Методическое пособие по выполнению
дипломного проекта

Хабаровск
Издательство ДВГУПС
2011

УДК 621.376.22

ББК

П

Рецензент:

доктор физико-математических наук,
профессор кафедры «Оптические системы связи» ФГБОУ ВПО ДВГУПС
Ю. М. Карпец

Давыдов Б. И.

Расчет надежности волоконно-оптической системы передачи: методическое пособие по выполнению дипломного проекта / Б. И. Давыдов. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2011. – с.: ил.

Методическое пособие разработано в соответствии с ГОС ВПО направления подготовки специалистов 210400 «Телекоммуникации», специальности 210401 «Физика и техника оптической связи», направлений подготовки бакалавров 210400 «Телекоммуникации» и 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

В методическом пособии рассматриваются вопросы анализа надежности волоконно-оптической системы передачи на стадии проектирования. Описываются способы технического обслуживания, при реализации которых обеспечивается высокий уровень работоспособности и эффективности системы. Приводятся примеры расчета надежности цифровых систем передачи, использующих ВОЛС.

ВВЕДЕНИЕ

Расчет надежности системы выполняется в качестве раздела дипломного проекта студентами, получившими подготовку по направлениям 210400 «Телекоммуникации» и 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

В дипломных проектах разрабатываются системы передачи информации, использующие волоконно-оптический кабель и оборудование ВОЛС на участках нового строительства или модернизации существующих линий. Волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) используются как на магистральных линиях, так и в сетях внутризональной связи.

В настоящем методическом пособии рассматриваются следующие вопросы:

- основные положения теории надежности радиоэлектронных устройств и систем;
- сведения о принципах построения и функционирования ВОСП;
- требования нормативных документов к надежности ВОСП;
- методика инженерного расчета показателей надежности ВОСП;
- мероприятия, направленные на повышение надежности ВОСП.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целями работы по подготовке раздела «Надежность» являются:

- закрепление знания основ теории надежности радиоэлектронных систем;
- освоение навыков работы с технической, справочной документацией;
- определение показателей надежности спроектированной системы;
- определение способов обеспечения надежности при проектировании, строительстве, эксплуатации системы.

Результаты работы должны быть оформлены документально в виде главы дипломного проекта.

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ

Под надежностью объекта системы связи или обработки данных, согласно ГОСТ 27.002-83, подразумевают его свойство сохранять во времени и установленных пределах значения всех параметров, характеризующих качество передачи информации. При этом полагают, что объект функционирует при заданных режимах, условиях применения, а также при соблюдении правил и регламентов технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки.

Комплексным показателем надежности служит коэффициент готовности K_{Γ} , определяющий вероятность работоспособности объекта в произвольный

момент времени – кроме планируемых перерывов, в течение которых использование объекта по назначению не предусматривается. Связанным с указанным показателем является коэффициент простоя (неготовности) K_{Π} :

$$K_{\Pi} = 1 - K_{\Gamma} \quad (1)$$

Согласно положениям теории надежности, время работы объекта до наступления отказа рассматривается как случайная величина, которая характеризуется определенным законом распределения. В качестве основных показателей, отражающих уровень надежности объекта, принимаются среднее время наработки на отказ T_0 и средняя интенсивность отказов λ .

Показатель T_0 - среднее время между отказами объекта – определяют как математическое ожидание случайной величины. Указанные показатели связаны соотношением:

$$\lambda = \frac{1}{T_0} \quad (2)$$

Средняя интенсивность отказов в единицу времени λ в период нормального функционирования объекта принимается постоянной.

Показатели надежности определяют экспериментально путем постановки на испытания N однотипных объектов, обеспечения их работы до возникновения отказов. Фиксируют моменты t_i каждого из отказов и определяют следующие величины:

- число изделий, не отказавших к заданному моменту времени t $n(t)$;
- число изделий, отказавших на малом интервале времени $[t, (t + \Delta t)]$ $\Delta n(t)$.

Среднее время безотказной работы изделия по статистическим данным оценивается выражением:

$$T_0 = m_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (3)$$

Статистическая оценка интенсивности отказов определяется формулой:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{n(t)\Delta t} \quad (4)$$

Функция распределения $F(\lambda)$ случайной величины λ характеризует набор вероятностей превышения этой величиной значений $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ - в пределе, всех значений в интервале $[\lambda_1, \lambda_n]$. На рисунке 1 приведен пример

совокупности реализаций случайной величины, на рисунке 2 – график функции распределения этой случайной величины.

Рисунок 1. Реализации случайной величины

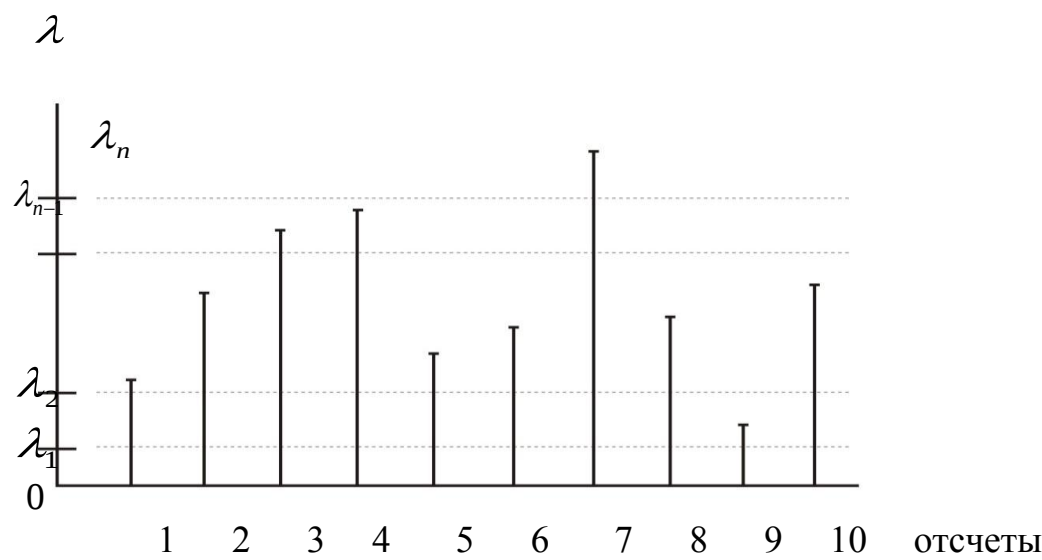
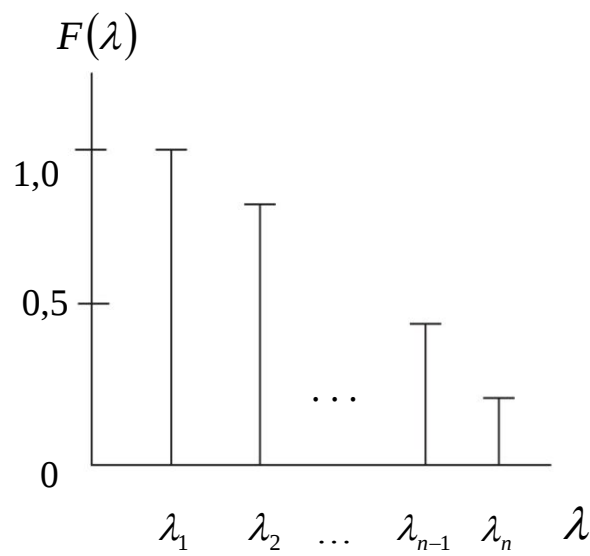


Рисунок 2. Распределение вероятностей случайной величины



$$\begin{aligned} p(\lambda > \lambda_1) &= 1,0 & p(\lambda > \lambda_2) &= 0,9 \\ p(\lambda > \lambda_{n-1}) &= 0,3 & p(\lambda > \lambda_n) &= 0,1 \end{aligned}$$

Среднее время наработки на отказ ЦСП T_0 складывается из среднего времени наработки между предотказовым и отказовым состояниями T_m и средним временем наработки на отказовое состояние T_λ

$$T_0 = T_m + T_\lambda \quad (5)$$

Величина, обратная интенсивности отказов ЦСП λ , в этом случае определяется выражением:

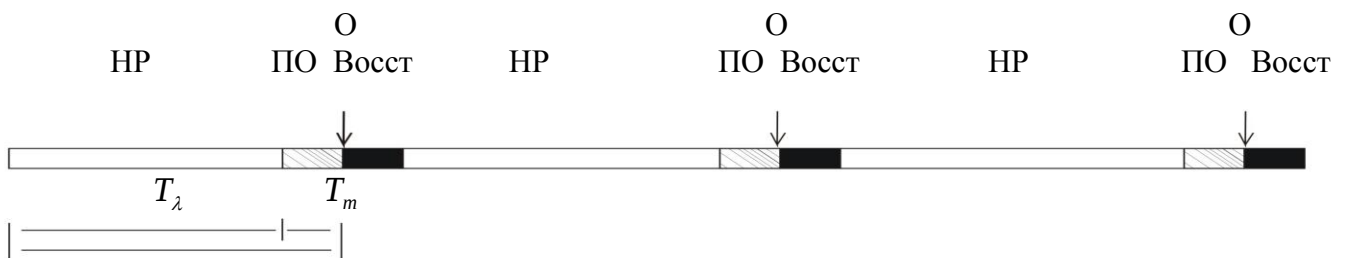
$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{m} + \frac{1}{\lambda_m}, \quad (6)$$

где m – интенсивность перехода из предотказового состояние в отказовое состояние;

λ_m – интенсивность перехода в предотказовое состояние.

Распределение указанных режимов во времени иллюстрируется рисунком 3.

Рисунок 3. Диаграмма процесса функционирования объекта во времени



НР – нормальная работа О – отказ ПО – предотказовое состояние
 T_0 Восст – период восстановления

Суммарная интенсивность отказов системы $\lambda_{цсп}$, в которой не предусмотрено защитное переключение на резерв в случае отказа, определяется как сумма показателей λ_i всех элементов системы:

$$\lambda_{цсп} = \sum \lambda_i \quad (7)$$

Для восстанавливаемых объектов одним из важнейших свойств является ремонтпригодность. Под ремонтпригодностью понимают приспособленность объекта к предупреждению неисправности, ее обнаружению и устранению последствий путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Ремонтпригодность характеризуется средним временем восстановления v , затрачиваемым на обнаружение, поиск причины и устранение последствий отказа.

3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

3.1. Классификация, принципы построения и функционирования ВОСП изложены в основополагающих нормативных документах Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации (ВСС РФ).

Сети связи в зависимости от протяженности и топологии разделяются на три класса:

- местная первичная сеть (МСП) с протяженностью линейного тракта до 200 км;
- внутризоновая первичная сеть (ВЗПС) с протяженностью до 1400 км;
- магистральная первичная сеть (СМП) с протяженностью до 12500 км.

3.2. Волоконно-оптическая система передачи в общем случае включает оконечные пункты ОП1, ОП2, в которых осуществляется формирование цифровых потоков, пункты промежуточного усиления и коррекции сигналов (ОРП, НРП) и участки линейно-кабельных сооружений (рисунок 4). В оборудовании обслуживаемых регенеративных пунктов ОРП, как правило, производится декомпозиция группового сигнала и последующее группообразование. В необслуживаемых пунктах НРП указанные процедуры не выполняются.

Рис.4. Структурная схема ВОСП



1, 2, 3, 4 – участки линейно-кабельных сооружений

3.3. Существует два типа стратегий восстановления нормального функционирования ВОСП в случае возникновения аварийной ситуации. Первая стратегия, используемая на значительном числе эксплуатируемых в настоящее время линий связи (традиционная стратегия), предполагает начало действий по восстановлению работоспособности системы с момента обнаружения отказа (аварии). Второй тип – оптимальная стратегия – основывается на обнаружении предотказового (предаварийного) состояния системы. При обнаружении такого состояния начинаются действия по восстановлению. Запас времени между обнаружением отклонения качества работы от нормы и выходом системы из строя позволяет лучше организовать ремонтный процесс. В этом случае снижается время простоя системы, обусловленное процессом восстановления ее работоспособности.

3.4. Анализ характерных причин возникновения неисправностей компонентов ВОСП показывает, что не менее 70% отказов может быть отнесено к постепенным. Эти отказы вызываются деградацией зеркал лазерных граней, образованием «темных линий» в лазерах, развитием микротрещин оптического кабеля, ростом затухания при поглощении водорода, ростом темнового тока в фотоприемнике и др. Наблюдение плавных изменений параметров системы, обусловленное развитием перечисленных процессов, позволяет обнаружить предотказовое состояние и своевременно начать восстановление работоспособности.

4. ТРЕБОВАНИЯ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ К НАДЕЖНОСТИ ВОСП

Основные требования к качеству и надежности ВОСП регламентированы Рекомендациями Международного союза электросвязи G.821, G.921, отечественными стандартами.

Согласно стандартам МСЭ-Т, качество цифровой системы передачи делят на три категории:

- связь приемлемая, коэффициент ошибок $K_{\text{ош}} < 10^{-6}$;
- связь некачественная $10^{-6} < K_{\text{ош}} < 10^{-3}$;
- связь неприемлемая $K_{\text{ош}} > 10^{-3}$.

Возникновение уровня ошибок, соответствующего некачественной связи, служит признаком предотказового состояния аппаратуры. Превышение уровнем ошибок значения 10^{-3} свидетельствует об отказе системы, аварийном состоянии оборудования.

Основные показатели надежности функционирования каналов связи и оборудования линейного тракта цифровой системы передачи приведены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели надежности функционирования каналов связи и оборудования линейного тракта

Показатели надежности	Канал	Канал ОЦК	Оборудование
-----------------------	-------	-----------	--------------

		ТЧ/ОЦК независимо от сист. передачи	современной цифровой сети	линейного тракта
Коэффициент готовности	МСП	0,997	0,9994	0,9997
	ВЗСП	0,990	0,998	0,990
	СМП	0,920	0,982	0,920
Среднее время между отказами, ч.	МСП	400	7000	2500
	ВЗСП	111,4	2050	350
	СМП	12,5	230	40
Время восстановления, ч.	МСП	1,1	4,24	10,0 (2,5; 0,5)*
	ВЗСП	1,1	4,24	10,0 (2,5; 0,5)*
	СМП	1,1	4,24	10,0 (2,5; 0,5)*

* Примечание. Время восстановления элементов ВОСП не должно превышать:

- для волоконно-оптического кабеля 10,0 ч, в том числе время подъезда к месту аварии 3,5 ч;
- для НРП 2,5 ч, в том числе время подъезда 2 ч.;
- для ОП, ОРП 0,5 ч.

5. МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ВОСП

5.1. В ходе расчета сначала вычисляют суммарные показатели надежности всего комплекса ВОСП по данным о надежности отдельных

компонентов. При этом учитывают отличие фактических длин участков проектируемой линии связи от типовой протяженности. Информацию о характеристиках надежности отдельных компонентов ВОСП получают из технической документации на изделия – технических условий (ТУ), технических описаний (ТО), материалов тестирования производителями или экспертными организациями.

Затем полученные значения сравнивают с нормативными, рассчитанными на основании действующих требований и стандартов. В случае, если рассчитанные показатели надежности проектируемой системы не удовлетворяют требованиям, выполняют действия по оптимизации ВОСП, порядок которых описан в разделе 6.

5.2. Коэффициент простоя K_{Π} при традиционной стратегии обслуживания, когда восстановление начинается с момента обнаружения отказа, определяют по формуле:

$$K_{\Pi} = \frac{\lambda v}{1 + \lambda v} = \frac{v}{T_0 + v}, \quad (8)$$

где λ , $1/q$ - интенсивность отказов;

v и T_0 , ч – соответственно среднее время восстановления и среднее время наработки на отказ.

Коэффициент готовности при указанной стратегии обслуживания системы определяется выражением:

$$K_r = \frac{T_0}{T_0 + v} \quad (9)$$

При использовании прогрессивной стратегии обслуживания ВОСП коэффициент простоя рассчитывают в соответствии со следующим выражением:

$$K'_{\Pi} = \frac{\lambda(1 - 0,7t_1)}{1 + \lambda v}, \quad (10)$$

где t_1 - время подъезда к месту аварии.

Для современных ВОСП с высокими надежностными показателями можно полагать, что $\lambda v \ll 1$. В этом случае выражения для K_{Π} упрощаются:

$$K_{\Pi} \cong \lambda v \quad (11)$$

$$K'_{\Pi} \cong \lambda(v - 0,7t_1) \quad (12)$$

5.3. Среднее время между отказами при длине канала (магистральной) L , отличной от стандартного значения L_M , определяют по формуле:

$$T_0(L) = T_0 \frac{L_M}{L} \quad (13)$$

Значения L_M принимают равными 200 км для МСП, 1400 км для ВЗПС, 12500 км для СМП.

5.4. Среднее время между отказами сетевых трактов N-го порядка по отношению к среднему времени между отказами канала ОЦК (64 кбит/с) определяют как:

$$T_0(N) = \frac{T_0(\text{ОЦК})}{0,95^N} \quad (14)$$

Здесь N определяет номер ступени иерархии ПЦИ/СЦИ, к которой относится рассматриваемый сетевой тракт. Передача данных на уровнях иерархии производится со скоростью: (622 Мбит/с)-(140 Мбит/с)-(34 Мбит/с)-(8 Мбит/с)-(2 Мбит/с)-(64 кбит/с).

Например, сетевой тракт уровня СТМ-4 (622 Мбит/с) является ступенью порядка N=6 по отношению к каналу ОЦК (64 кбит/с).

5.5. Интенсивность отказов волоконно-оптического кабеля за 1 час на длине трассы ВОЛС L рассчитывают по формуле:

$$\lambda_{OK} = \frac{ML}{8,8 \cdot 10^5}, \quad (15)$$

где $M=0,34$ – среднее число (плотность отказов) кабеля на магистральной сети РФ из-за внешних повреждений.

5.6. При параллельном (в смысле надежности) соединении систем передачи и резервировании по схеме (n+m), когда n рабочих элементов резервируются элементами числом m, коэффициент простоя определяют по формуле:

$$K_{п.р} = K_{п.}^{m+1} \frac{(n+m)!}{n!(m+1)!} + \frac{n}{n+m} \frac{\lambda}{\lambda(n+m) + \lambda_1}, \quad (16)$$

где λ - интенсивность отказов одного элемента системы передачи;

λ_1 - интенсивность отказов устройства переключения на резерв.

Для кольцевой структуры связи $\lambda_1 = 0$, $m=n=1$; коэффициент простоя при этом равен:

$$K_{п.р} = K_{п.}^2 \quad (17)$$

5.7. При последовательном соединении по надежности элементов системы передачи – участков магистрали или оборудования – суммарный коэффициент простоя равен сумме коэффициентов простоя K_{Π} отдельных элементов:

$$K_{\Pi p} = K_{\Pi 1} + K_{\Pi 2} + \dots \quad (18)$$

6. МЕРОПРИЯТИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВОСП

6.1. Если рассчитанные показатели надежности проектируемой ВОСП не удовлетворяют требованиям первичной сети общего пользования или требованиям специализированной (корпоративной) сети, то используют один из следующих способов улучшения надежностных характеристик.

6.1.1. Заменяют наименее надежные компоненты ВОСП на оборудование (кабель) другого производителя, имеющее более высокие характеристики.

6.1.2. Вносят изменения в структурную схему организации связи, вводя резервирование по элементам или по линейному тракту на участке переключения.

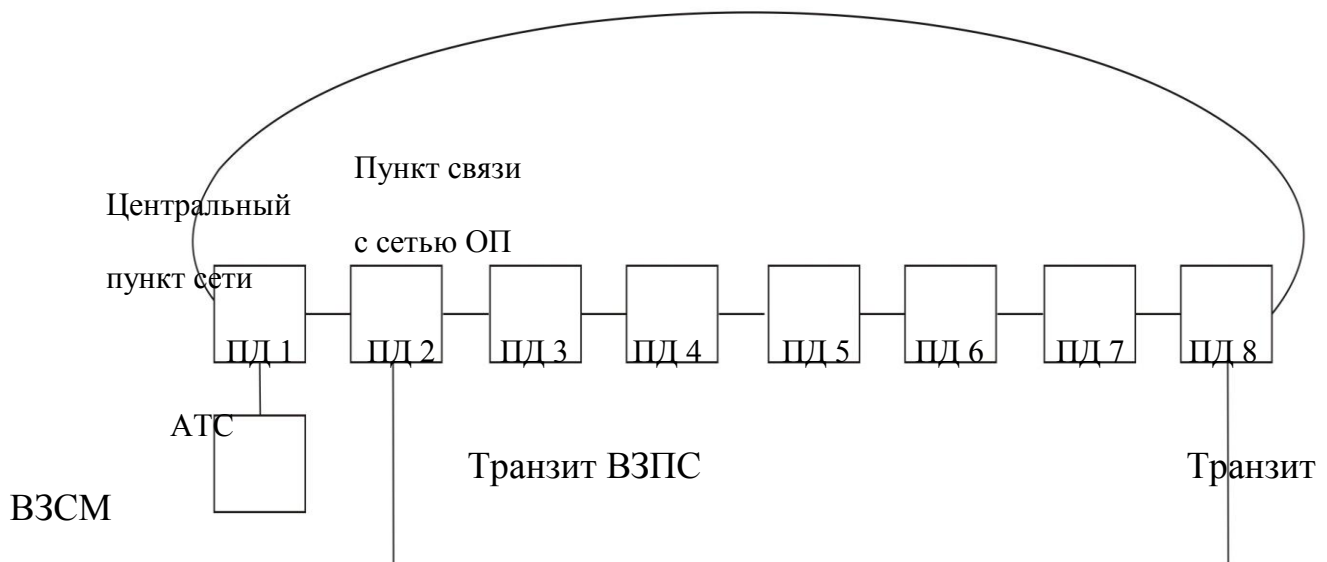
6.1.3. Организуют эксплуатацию ВОСП на основе оптимальной стратегии восстановления.

7. ПРИМЕР 1. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ КОЛЬЦЕВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

7.1. Рассчитать надежность кольцевой системы связи, в которой доступ к транспортному ресурсу реализован по технологии синхронной цифровой иерархии (СЦИ) уровня СТМ-4. Транспортная магистраль имеет длину $L=120$ км, число пунктов доступа – 8. Схема кольцевой системы связи приведена на рисунке 5.

Сеть организует связь между пунктами доступа (каналы «каждый с каждым»), выход на сеть общего пользования через соединительную линию МСП (каналы-выходы), транзит каналов ВЗСП и СМП (транзитные каналы).

Рисунок 5. Кольцевая схема связи с выходом на сеть общего пользования и транзитом каналов ВЗПС и СМП



7.2. Вычислим требуемые значения коэффициента простоя K_{Π} каналов, воспользовавшись данными таблицы 1. Исходные показатели, которые необходимы для расчета требуемой надежности проектируемой системы, соответствуют стандартным требованиям для МСП, ВЗПС, СМП.

Величина K_{Π} рассчитывается в соответствии с выражением (8) с учетом того, что время восстановления ν не зависит от протяженности магистрали L .

Время наработки на отказ пересчитывается на действительную длину линии L по формуле (13). Для каналов различного назначения показатель требуемой надежности отличается. Причинами этого служат:

- разница в протяженности каналов различных назначений;
- разница в значениях показателей ν и T_0 для каналов, используемых в сегментах местной, внутризоновой и магистральной связи.

Например, для каналов магистрального сегмента проектируемой системы требуемые время наработки и коэффициент готовности имеют значения:

$$T_{0\text{СМП}} = 12,54 \frac{12500}{120} = 1306,3 \text{ ч}$$

$$K_{\Pi\text{СМП}} = \frac{1,1}{1306,3 + 1,1} = 8,41 \cdot 10^{-4}$$

В настоящем расчете (для упрощения) принята длина всех каналов одинаковой, $L = 120 \text{ км}$. Считается, что длина каналов «каждый с каждым» и транзитных каналов не может быть больше протяженности кольца. Длина каналов – выходов на сеть общего пользования – складывается из протяженности семи участков и протяженности соединительной линии от АТС до точки доступа в сеть, равной длине участка.

Значения коэффициента простоя, полученные в настоящем расчете, сведены в таблицу 2.

7.3. Требуемые значения коэффициента простоя $K_{П.ЛТ}$ оборудования линейного тракта рассчитываются по формуле, вытекающей из выражения (17):

$$K_{П.ЛТ} = \sqrt{(1 - K_r) \frac{L}{L_M}}$$

Коэффициент готовности K_r и стандартная протяженность L_M определяются из таблицы 1 для соответствующего сегмента: МСП, ВЗПС или СМП.

Например, для каналов магистрального сегмента:

$$K_{П.ЛТ} = \sqrt{(1 - 0,92) \frac{120}{12500}} = 2,77 \cdot 10^{-2}$$

Результаты расчета коэффициента готовности для оборудования линейного тракта (аппаратура+кабель), которое используется в соответствующих сегментах системы связи, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Требуемые значения коэффициента готовности для каналов и оборудования системы связи

Уровень сети	Канал ТЧ или ОЦК независимо от применяемой СП	Канал ОЦК на современной цифровой сети	Оборудование линейного тракта (аппаратура+кабель)
МСП	$1,65 \cdot 10^{-3}$	$3,63 \cdot 10^{-4}$	$2,79 \cdot 10^{-2}$
ВЗПС	$8,46 \cdot 10^{-4}$	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$2,92 \cdot 10^{-2}$
СМП	$8,42 \cdot 10^{-4}$	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$2,77 \cdot 10^{-2}$

7.4. Требуемые значения коэффициента простоя $K_{П.ОК}$ для случаев отказа (аварии) оптического кабеля, определим, используя выражения (8) и (15):

$$K_{П.ОК} = \frac{\lambda_{ОК} \nu_{ОК}}{1 + \lambda_{ОК} \nu_{ОК}}, \quad \lambda_{ОК} = \frac{ML}{8,8 \cdot 10^5}$$

При использовании оптического кабеля широкого применения и способов монтажа, не предусматривающих дополнительной защиты кабеля, принимают среднегодовое число отказов $M=0,34$. Если же закладывают в проект тип кабеля с повышенными показателями надежности, применяемый в трансконтинентальных ВОСП, и предусматривают дополнительные меры по защите кабеля от обрывов, появляется основание к снижению M до значений 0,15-0,20.

Для крайних случаев – стандартной и высоконадежной ВОЛС – значения интенсивности отказов равны соответственно $4,1 \cdot 10^{-5} \frac{1}{ч}$ и $2,3 \cdot 10^{-5} \frac{1}{ч}$.

При сложившейся (традиционной) системе эксплуатации ВОСП нормативное время восстановления оптического кабеля при отказах, как указано в разделе 4, составляет 10 часов. В этом случае расчетный коэффициент простоя системы равен $4,1 \cdot 10^{-4}$. Если же повысить уровень эксплуатации, например, сократить время подъезда к месту аварии, можно существенно уменьшить коэффициент простоя. Так, если принять $v_{ок} = 7 ч$ и применить высоконадежный оптический кабель, коэффициент простоя снизится до значения $1,6 \cdot 10^{-4}$.

7.5. Требуемые значения коэффициента простоя аппаратуры в пунктах доступа $K_{П\text{ ann}}$ определим по формуле, вытекающей из выражения (18):

$$K_{П\text{ ann}} = K_{П\text{ ЛТ}} - K_{П\text{ ОК}}$$

При расчете используем значения простоя из-за отказов оптического кабеля в стандартной системе и в системе с высоконадежным кабелем и качественной эксплуатации, полученные в п. 7.4. Результаты расчета сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Требуемые значения коэффициента простоя вследствие отказов аппаратуры в пунктах доступа

Уровень сети	Коэффициент простоя аппаратуры для вариантов кабельной системы и системы эксплуатации	
	стандартная система	высоконадежная система
МСП	$2,75 \cdot 10^{-2}$	$2,77 \cdot 10^{-2}$
ВЗПС	$2,88 \cdot 10^{-2}$	$2,90 \cdot 10^{-2}$
СМП	$2,73 \cdot 10^{-2}$	$2,75 \cdot 10^{-2}$

Данные, приведенные в таблице, показывают, что надежность оборудования линейного тракта транспортной магистрали кольцевой системы определяется, в основном, надежностью аппаратуры в пунктах доступа.

7.6. Рассчитаем требуемые значения показателей надежности аппаратуры, устанавливаемой в каждом из пунктов доступа, и определим, можно ли удовлетворить этим требованиям при использовании оборудования ведущих мировых производителей.

В пункте доступа кольцевой транспортной магистрали используются:

- два комплекта промежуточного оборудования оптического линейного тракта (СТМ-4);

- комплект оборудования мультиплексирования-демультиплексирования СТМ-1/4 и СТМ-4/1;

- комплект оборудования ввода-вывода каналов ОЦК (или потоков 2 Мбит/с).

Требуемое значение среднего времени между отказами аппаратуры пункта доступа $T_{0\text{ ПД}}$ рассчитаем по формуле (8) для варианта высоконадежной кабельной системы и качественной эксплуатации. При этом получим оценки для двух противоположных схем организации сети связи: (а) когда все пункты доступа являются обслуживаемыми или (б) когда все пункты необслуживаемые. При реализации варианта (а) среднее нормативное время восстановления при отказе аппаратуры равно 0,5 часа, при варианте (б) – 2,5 часа.

В расчете будем использовать значение коэффициента простоя $K_{\text{П ann}} = 2,77 \cdot 10^{-2}$, соответствующее уровню МСП.

В расчетной формуле учтем, что коэффициент простоя аппаратуры пунктов доступа при последовательном (по надежности) соединении элементов равен сумме соответствующих частных показателей (выражение (18)). Если предположить равенство частных показателей надежности аппаратуры $\lambda_{\text{ПД}}$ для всех пунктов доступа, расчетное значение $K_{\text{П}}$ одного пункта нужно умножить на 8.

Для варианта (а) с обслуживаемыми пунктами доступа справедливо соотношение:

$$K_{\text{П ann}}^a = 8 \cdot \frac{\lambda_{\text{ПД}}^a \cdot 0,5}{1 + \lambda_{\text{ПД}}^a \cdot 0,5}$$

Отсюда получаем значения интенсивности отказов и времени наработки, которые необходимо требовать от аппаратуры пункта доступа при реализации варианта с постоянным обслуживанием:

$$\lambda_{\text{ПД}}^a = \frac{K_{\text{П ann}}^a}{4} = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/\text{ч} \qquad T_{0\text{ ПД}}^a = \frac{1}{6,8 \cdot 10^{-3} \cdot 8,8 \cdot 10^3} = 0,016 \text{ года}$$

Показатели требуемой надежности аппаратуры пункта доступа при варианте (б) – при всех необслуживаемых объектах – равны:

$$\lambda_{\text{ПД}}^b = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/\text{ч} \qquad T_{0\text{ ПД}}^b = 0,082 \text{ года}$$

Таким образом, требуемое значение среднего времени между отказами аппаратуры в одном пункте доступа при наилучшей тактике эксплуатации проектируемой системы связи лежит в следующих пределах:

$$0,016 \leq T_{0\text{пл}} \leq 0,082 \text{ (лет)}$$

В таблице 4 приведены показатели надежности оборудования пунктов доступа, выпускаемого ведущими мировыми производителями, в расчете на один линейный тракт.

Таблица 4. Значения среднего времени между отказами для систем передачи ведущих производителей, лет

Фирма Siemens, оборудование SL 4	Оконечная станция SL7 4	6,7
	Промежуточная станция SLR 4	7,3
Фирма NKT, оборудование Focus 620-2500	Оконечная станция TM 4	4,8
	Промежуточная станция REG 4	5,6
Фирма NEC, оборудование ВОСП, ПЦК	Оборудование линейного тракта 140 M OLT FD 4250	7,9
	Оборудование линейного тракта 34 M OLT FD 3250	8,8
	Оборудование линейного тракта 8 M OLT FD 2250	10,8

Сравнивая данные, приведенные в таблице, с расчетными требованиями к надежности, можно сделать следующий вывод. Реализация проектируемой кольцевой системы на современном оборудовании обеспечивает большой (многократный) запас по надежности.

7.6. Проверим, каким запасом по надежности обладают каналы связи, которые организуются в проектируемой системе. Оценку показателей надежности получим для случая использования наименее надежного оборудования фирмы NKT. Положим, в каждом пункте доступа будет установлено оборудование типа TM 4 с наибольшим набором узлов ввода-вывода каналов. Тогда значения коэффициента простоя аппаратуры в обслуживаемом и необслуживаемом пунктах доступа будут соответственно равны:

$$K_{пл}^a = \frac{0,5}{4,9 \cdot 8,8 \cdot 10^3 + 0,5} = 1,16 \cdot 10^{-5};$$

$$K_{пл}^6 = \frac{2,5}{4,9 \cdot 8,8 \cdot 10^3 + 2,5} = 5,8 \cdot 10^{-5}.$$

Наиболее реальна ситуация, когда два пункта доступа на кольцевой транспортной магистрали будут обслуживаемыми (центральный пункт и пункт связи с сетью общего пользования), а шесть – необслуживаемыми. Полагая это, получим значения $K_{пл}$ для аппаратуры СЦИ всего кольца:

$$K_{П\text{ annCЦИ}} = 2 \cdot K_{ДП\text{ ОРП}} + 6 \cdot K_{ДП\text{ НРП}} = 3,71 \cdot 10^{-4}$$

Тогда коэффициент простоя оборудования линейного тракта всего кольца при включении в проект традиционного варианта обслуживания линейно-кабельных сооружений составит (с учетом выражения (17)):

$$K_{П\text{ ЛТ СЦИ}} = (K_{П\text{ annCЦИ}} + K_{П\text{ ОК}})^2 = 6,1 \cdot 10^{-7}$$

Среднее время между отказами сетевого тракта уровня СТМ-4 при условии $T_0 \gg v$ определяется выражением:

$$T_0(N) = \frac{v}{K_{П\text{ ЛТ СЦИ}}}$$

Среднее время между отказами для одного транзитного канала ОЦК, с учетом полученного выражения и формулы (14), записывается в виде:

$$T_{0\text{ ОЦК}} = \frac{v \cdot 0,95^N}{K_{П\text{ ЛТ СЦИ}}}$$

Отсюда следует, что коэффициент простоя транзитного канала ОЦК определится выражением:

$$K_{П\text{ ОЦК тр}} = \frac{v}{T_{0\text{ ОЦК}}} = \frac{K_{П\text{ ЛТ СЦИ}}}{0,95^N}$$

Подставив полученное выше значение величины $K_{П\text{ ЛТ СЦИ}}$, окончательно получим:

$$K_{П\text{ ОЦК тр}} = 8,36 \cdot 10^{-7}$$

Из сравнения полученной величины с требуемыми значениями показателя надежности системы (таблица 2) следует, что транзитные каналы ОЦК имеют большой запас по надежности.

8. ПРИМЕР 2. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ КАНАЛА В СИСТЕМЕ ИКМ-1920

8.1. Оценим надежность канала ТЧ (ОЦК) на участке первичной магистральной сети (Взаимоувязанной сети связи РФ) длиной 830 км.

Обобщенная схема комплекса ВОСП приведена на рисунке 5. В комплексе применено отечественное оборудование СЦИ, показатели надежности которого (согласно ТУ) приведены в таблице 5.

Таблица 5. Среднее время наработки на отказ элементов оборудования ИКМ-1920 с ОЛТ

Тип оборудования (комплект)	САЦК-1	ВВГ	ТВГ	ЧВГ	СДП	ОЛТ
T_0 , час	20000	87600	150000	17000	87600	87600

Протяженность участка регенерации системы составляет 70 км. Стандартная строительная длина оптического кабеля – 2 км.

8.2. Определяем, что в состав комплекса входят:

- 415 строительных длин оптического кабеля;
- 2 комплекта САЦК-1 – по числу оконечных пунктов;
- 4 комплекта ВВГ – в оконечных пунктах и в ОРП 3;
- 6 комплектов ТВГ – в оконечных пунктах и в ОРП 2, ОРП 3;
- 8 комплектов ЧВГ – во всех обслуживаемых пунктах (в каждом – по два комплекта)
- 5 комплектов СДП – для питания НРП; в ряде ОРП одна стойка обеспечивает энергией два НРП;
- 8 комплектов НРП;
- 8 комплектов ОЛТ – по числу участков, которые обеспечиваются пунктами ОП.

8.3. Определим требуемые значения коэффициента простоя и среднего времени между отказами для каналов и оборудования ВОСП. Расчет произведем по формулам (8), (13), используя показатели таблицы 1 и значение $L=830$ км.

Результаты расчета приведены в таблице 6.

Таблица 6. Требуемые значения показателей надежности для каналов и оборудования магистральной ВОСП

Показатель надежности	Канал ТЧ (ОЦК) независимо от	Канал ОЦК на современной	Оборудование линейного тракта
-----------------------	------------------------------	--------------------------	-------------------------------

	применяемой СП	цифровой сети	
K_{Π}	$5,30 \cdot 10^{-3}$	$2,89 \cdot 10^{-4}$	$5,31 \cdot 10^{-3}$
T_0 , час	189	3464	602

8.3. Вычислим суммарный коэффициент простоя ВОСП по линейно-кабельным сооружениям. Причинами отказов этих компонентов системы служат внешние повреждения (работы вблизи ВОЛС, дефекты строительства, удары молний и др.) и внутренние отказы кабеля.

По данным статистики, интенсивность отказов за счет внешних повреждений (кроме ударов молний) составляет 0,06 на один НРП в год. При расчете учтем, что число НРП в системе - 8.

Влияние ударов молний приводит к интенсивности отказов на 1 км кабеля, равной 0,34 за год. Такой показатель справедлив для участков, где используется кабель с металлическими жилами для питания НРП. Таких участков в системе 8, их общая длина равна 550 км. На длине магистрали 280 км, где металлических жил нет, интенсивность отказов (по статистике) ниже, составляет 0,83 от указанной, или 0,28 события за год.

Время наработки на отказ одной строительной длины оптического кабеля российских производителей, возникающий за счет внутренних причин, согласно ТУ, равно 3225 тысяч часов.

Используя формулы (7), (15) и значения показателей надежности кабеля, выполним расчет интенсивности отказов линейно-кабельных сооружений:

$$\lambda_{OK} = \frac{0,06 \cdot 8}{8,8 \cdot 10^3} + \frac{0,34 \cdot 550}{8,8 \cdot 10^5} + \frac{0,28 \cdot 280}{8,8 \cdot 10^5} + 415 \frac{1}{3225 \cdot 10^3} = 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}$$

Коэффициент простоя ВОСП по линейно-кабельным сооружениям при традиционной стратегии восстановления определим, используя выражение (8):

$$K_{\Pi OK} = \frac{5,3 \cdot 10^{-4} \cdot 10}{1 + 2,3 \cdot 10^{-4} \cdot 10} = 5,3 \cdot 10^{-3}$$

При оптимальной стратегии восстановления и времени подъезда, равном 3,5 часа:

$$K_{\Pi OK \text{ опт}} = 4,0 \cdot 10^{-3}$$

8.4. Рассчитаем коэффициент простоя ВОСП по причине отказов аппаратуры.

Чтобы выполнить расчет, прежде всего, определим интенсивность отказов оборудования $\lambda_{оп}$ во всех обслуживаемых пунктах, используя показатели таблицы 4 и число комплектов аппаратуры каждого типа, указанных в п. 8.2:

$$\lambda_{ОП} = 2 \cdot \lambda_{САЦК} + 4 \cdot \lambda_{ВВГ} + 6 \cdot \lambda_{ТВГ} + 8 \cdot \lambda_{ЧВГ} + 5 \cdot \lambda_{СДП} + 8 \cdot \lambda_{ОЛТ} = 8,1 \cdot 10^{-4}$$

Коэффициент простоя обслуживаемых пунктов при расчете по формуле (8) с учетом того, что $v=0,5$ ч, получается равным:

$$K_{П ОП} = 4,0 \cdot 10^{-4}$$

Интенсивность отказов для оборудования НРП определим с учетом того, что структурно (по надежности) регенератор в НРП соответствует двум комплектам ОЛТ. Интенсивность отказов для всех 8 регенеративных пунктов составит:

$$\lambda_{НРП} = 8 \cdot 2 \cdot \lambda_{ОЛТ} = 1,84 \cdot 10^{-4}$$

Коэффициент простоя по причине отказов НРП, если планируется традиционная или оптимальная стратегия обслуживания, имеет следующие значения:

$$K_{П НРП} = 4,6 \cdot 10^{-4}; \quad K_{П НРП опт} = 1,84 \cdot 10^{-4}$$

Суммарный коэффициент простоя аппаратуры ВОСП при указанных вариантах стратегии обслуживания составляет:

$$K_{П ann} = 8,6 \cdot 10^{-4} \quad K_{П ann опт} = 6,0 \cdot 10^{-4}$$

8.5. Суммарный коэффициент простоя всего комплекса ВОСП, определяемый как сумма $K_{П ОК}$ и $K_{П ann}$, при традиционной стратегии восстановления составляет:

$$K_{П} = 5,3 \cdot 10^{-3} + 8,6 \cdot 10^{-4} = 6,2 \cdot 10^{-3}$$

При оптимальной стратегии восстановления:

$$K_{П опт} = 4,0 \cdot 10^{-3} + 6,0 \cdot 10^{-4} = 4,6 \cdot 10^{-3}$$

Как видно из сравнения результатов расчета с данными таблицы 5, только при оптимальной стратегии восстановления показатели надежности проектируемой ВОСП удовлетворяют требованиям сети общего пользования. Показатели могут быть дополнительно улучшены при сокращении времени восстановления оптического кабеля, так как коэффициент простоя, в основном, определяется «кабельной» компонентой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гоноровский И. С., Демин М. П. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1994. – 480 с.
2. Надежность электронных элементов и систем / Пер. с англ. под ред Х. Шнайдера. – М.: Мир, 1977. – 185 с.
3. Здоровцев И. А. Основы теории надежности волоконно-оптических линий передачи железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 2004.
4. Алексеев Е. Б. Надежность ВОСП: методика инженерного расчета и проектирования // Вестник связи, 1996, №5. – С. 26-34.
5. Алексеев Е. Б. Особенности эксплуатации ВОСП и пути повышения качества их функционирования // Электросвязь, 1996, №3. –С. 42-46.
6. Маневич М. А. и др. Методология оценки показателей надежности ВОЛП // Электросвязь, 2004, №1. – С. 31-35.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение	3
1. Цель работы	3
2. Основные положения теории надежности радиоэлектронных устройств и систем	3
3. Принципы построения и функционирования волоконно-оптических систем передачи	7
4. Требования нормативных документов к надежности ВОСП	8
5. Методика инженерного расчета надежности ВОСП	10
6. Мероприятия, направленные на повышение надежности ВОСП	12
7. Пример 1. Расчет надежности кольцевой системы связи	12
8. Пример 2. Расчет надежности канала в системе ИКМ-1920	19
Библиографический список	22

Учебное издание

Давыдов Борис Израильевич

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

Методическое пособие по выполнению
дипломного проекта