

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Российский университет транспорта» (МИИТ)

Кафедра: "СУТИ"

ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ №3

«СИНХРОНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
В ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ»

по дисциплине: Эксплуатационные измерения
в волоконно-оптических сетях и системах передачи

Москва, 2023

2.1. Теоретическая часть

Волоконно-оптическая линия передачи представляет сложную динамическую систему, т.е. совокупность технических устройств или элементов, взаимодействующих в процессе выполнения производственных задач на основе определенной функциональной зависимости. Особенность систем передачи как сложных динамических систем состоит в рассредоточенности их оборудования и аппаратуры на больших территориях, отделенных большими расстояниями.

В теории надежности и эксплуатации сложных систем важным понятием является объект — изделие определенного целевого назначения, рассматриваемое в периоды проектирования, производства, испытаний и эксплуатации. В процессе эксплуатации сложная система и ее компоненты являются объектом технической эксплуатации (ОТЭ).

Комплексным свойством ВОЛП как ОТЭ является надежность, т.е. свойство ОТЭ сохранять во времени значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения: использования по назначению, технического обслуживания и ремонта, хранения и транспортирования. Надежность ВОЛП будем рассматривать в режимах использования по назначению, технического обслуживания и ремонта.

Иногда для большей определенности и конкретизации различают следующие разновидности надежности: эксплуатационную и техническую (номинальную).

Под эксплуатационной надежностью понимается надежность, определяемая в реальных условиях эксплуатации с учетом комплексного воздействия внешних и внутренних факторов, связанных с климатическими и географическими особенностями эксплуатации, реальными режимами работы ОТЭ и условиями его обслуживания.

Важнейшим понятием в теории надежности является отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния ОТЭ, т.е. состояния, при котором значения всех параметров, характеризующих способность ОТЭ выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической документации (НТД). Классификация отказов самая разнообразная, но на стадии технической эксплуатации ОТЭ основными являются эксплуатационные отказы, обусловленные нарушениями установленных правил и/или условий эксплуатации. По характеру изменения отказы как случайные события, подразделяются на внезапные отказы, характеризующиеся скачкообразным изменением одного или нескольких параметров ОТЭ и постепенные отказы, возникающие в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров ОТЭ.

Отличительный признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния, согласно которым устанавливается факт возникновения отказа, называется критерием отказа. Критерий отказа устанавливается НТД. Например, под критерием отказа типового канала понимается перерыв связи (снижение уровня более чем на 18 дБ) длительностью более 300 мс.

Процесс обнаружения и устранения отказа, т.е. перевод ОТЭ из неработоспособного состояния в работоспособное, называется восстановлением. По способности к восстановлению ОТЭ подразделяются на восстанавливаемые ОТЭ, использование которых возможно после восстановления, и на невосстанавливаемые ОТЭ, восстановление которых после отказа считается нецелесообразным или невозможным. ВОЛП являются восстанавливаемыми ОТЭ, показатели надежности которых определяются рядом эксплуатационно-технических характеристик, основные из которых:

- параметр потока отказов (интенсивность отказов λ), представляющий собой отношение числа отказов объекта за определенный интервал времени к длительности этого интервала времени при ординарном потоке отказов;
- среднее время наработки на отказ T_0 , представляющее собой среднее

время между отказами оборудования в часах; параметр потока отказов связан со средним временем безотказной работы соотношением:

$$T_0 = 1/\lambda \quad (2.1)$$

- вероятность безотказной работы $P(t)$ – вероятность того, что в заданном интервале времени t объект будет находиться в работоспособном состоянии;

- среднее время восстановления T_B , характеризующее среднее время, затраченное на восстановление объекта при возникновении отказа; это время складывается из времени поиска и устранения отказа, времени проведения регулировочно-настроечных работ и др.; величина T_B измеряется в часах; величина, обратная времени восстановления, называется интенсивностью восстановления, 1/ч:

$$\mu = 1/T_B \quad (2.2)$$

- коэффициент готовности K_Γ – вероятность того, что объект будет работоспособен в любой момент времени;

- коэффициент простоя K_Π – вероятность того, что объект окажется в неработоспособном состоянии в произвольный момент времени.

$$P(t) = \exp(-\lambda t) \quad (2.3)$$

Коэффициент готовности связан со средним временем безотказной работы T_0 и средним временем восстановления T_B соотношением:

$$K_\Gamma = \frac{T_0}{T_0 + T_B} \quad (2.4)$$

Между собой показатели надежности связаны определенными соотношениями:

$$K_{\Gamma} = 1 - K_{\Pi} \quad (2.5)$$

В связи с высокими требованиями на коэффициент готовности при расчете показателей надежности систем передачи на основе СЦИ в качестве расчетного показателя наиболее удобно выбрать коэффициент простоя:

$$K_{\Pi} = 1 - K_{\Gamma} = \frac{T_{\text{В}}}{T_0 + T_{\text{В}}} \quad (2.6)$$

Требуемые показатели качества и надежности для местной первичной сети (МСП), внутризоновой первичной сети (ВЗПС) и магистральной первичной сети (СМП) ЕСЭ РФ с максимальной протяженностью без резервирования являются строго регламентированными (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Показатели качества и надежности сетей связи

Показатель	Канал ТЧ или ОЦК независимо от применяемой ЦСП	ОЦК на перспективной цифровой сети	Оборудование линейного тракта
МСП $L_M = 200$ км			
Коэффициент готовности, K_{Γ}	>0,997	>0,9994	0,9987
Среднее время между отказами, T_0 , ч	>400	>7000	>2500
Время восстановления, $T_{\text{В}}$, ч	<1,1	<4,24	*
ВЗПС $L_M = 1400$ км			
Коэффициент готовности, K_{Γ}	>0,99	>0,998	0,99
Среднее время между отказами, T_0 , ч	>111,4	>2050	>350
Время восстановления, $T_{\text{В}}$, ч	<1,1	<4,24	*
СМП $L_M = 12500$ км			
Коэффициент готовности, K_{Γ}	>0,92	>0,982	0,92
Среднее время между отказами, T_0 , ч	>12,54	>230	>40
Время восстановления, $T_{\text{В}}$, ч	<1,1	<4,24	*
*Для оборудования линейных трактов на МСП, ВЗПС и СМП должно быть: - время восстановления необслуживаемого регенерационного участка (НРП) $T_{\text{В нрп}} < 2,5$ ч (в том числе время подъезда - 2 часа); - время восстановления оконечного и обслуживаемого регенерационного пункта $T_{\text{В оп,орп}} < 0,5$ ч - время восстановления оптического кабеля (ОК) $T_{\text{В ок}} < 10$ ч (в том числе время подъезда не более 3,5ч)			

Среднее число (плотность) отказов ОК за счет внешних повреждений на 100 км в год $M = 0,34$. Тогда интенсивность отказов ОК за 1 час на длине трассы ВОЛП:

$$\lambda_{\text{ок}} = \frac{M \cdot L}{8760 \cdot 100} \quad (2.7)$$

При длине канала L , не равной L_M , среднее время между отказами определяется как:

$$T_0(L) = T_0 \frac{L_M}{L} \quad (2.8)$$

Пример расчёта:

2.2. Расчёт допустимых показателей надёжности функционирования

Произведём расчёт допустимых показателей надёжности функционирования ВОЛС протяженностью 83 км.

По данным таблицы 2.1 данная ВОЛС относится к МСП.

По формуле (2.8) определим среднее время между отказами оборудования ЦСП $T_0(E)$.

Исходные данные для расчёта: $L_M = 200$ км, $T_0 = 400$ ч, $T_B = 1$ ч.

Подставляем эти значения в формулу (2.8):

$$T_0(E) = 400 \frac{200}{83} = 963,86 \text{ ч.}$$

По формуле (2.4) определим допустимый коэффициент готовности K_{Γ} для оборудования ЦСП:

$$K_{\Gamma_{\text{доп}}} = \frac{963,86}{963,86 + 1} = 0,999$$

Допустимый коэффициент простоя $K_{\text{Пдоп}}$ получим из формулы (2.6), подставив в нее значение $K_{\Gamma_{\text{доп}}} = 0,999$:

$$K_{\text{Пдоп}} = 1 - 0,999 = 0,001$$

Среднее время безотказной работы оборудования линейного тракта (ОЛТ) найдем по формуле (2.8), подставив в нее значения из таблицы 2.1:

$T_0 = 2500$ ч, $L_M = 200$ км, и $L = 83$ км.

$$T_0(L) = 2500 \frac{200}{83} = 6024 \text{ ч.}$$

Максимум среднего времени восстановления определяется временем восстановления оптического кабеля, т.е. $T_B = 5$ ч.

Следовательно, максимальное значение допустимого коэффициента простоя линейного тракта по формуле (2.6) составит:

$$K_{\text{ЛТ доп}} = \frac{5}{6024 + 5} = 8,29 \cdot 10^{-4}$$

2.3. Расчёт ожидаемых показателей надёжности ВОСП без RFTS

Определим ожидаемые показатели надёжности функционирования ВОСП без системы мониторинга для ОЛТ.

Для определения показателей надёжности оборудования линейного тракта, включающего в себя $L_{\text{ОК}} = 83$ км оптического кабеля, с интенсивностью отказов $\lambda_{\text{ОК}}$, числом мультиплексоров ввода/вывода $n_{\text{МХ}} = 5$, с интенсивностью отказов каждого $\lambda_{\text{МХ}} = 0,8 \cdot 10^{-6}$ 1/ч следует рассчитать суммарную интенсивность отказов по формуле:

$$\lambda = \lambda_{\text{ОК}} + \lambda_{\text{МХ}} n_{\text{МХ}} \quad (2.9)$$

Величину $\lambda_{\text{ОК}}$ найдем по формуле (2.7), подставив в нее значение $M=0,34$, и $L_{\text{ОК}} = 83$ км:

$$\lambda_{\text{ОК}} = \frac{0,34 \cdot 83}{876000} = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч.}$$

Подставив в формулу (2.9) значения $\lambda_{\text{ОК}} = 3,2 \cdot 10^{-5}$ 1/ч, $\lambda_{\text{min}} = 0,8 \cdot 10^{-6}$ 1/ч, и $n_{\text{МХ}} = 5$, найдем интенсивность отказов линейного тракта:

$$\lambda = 3,2 \cdot 10^{-5} + 0,8 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч.}$$

Среднее время безотказной работы линейного тракта:

$$T_0 = \frac{1}{3,6 \cdot 10^{-5}} = 2,7 \cdot 10^4$$

Максимум среднего времени восстановления определяется временем

восстановления оптического кабеля, т.е.:

$$T_B = T_{обн} + T_{под} + T_{устр}$$

где: $T_{обн} = 0,5$ ч – время обнаружения отказа;

$T_{устр} = 6$ ч - время устранения отказа (ремонт);

$T_{под} = 3,5$ ч – время подъезда РВБ.

Время РВБ определить в соответствии с заданным участком.

Ожидаемый коэффициент простоя ВОСП без применения системы мониторинга:

$$K_{ЛТож} = \frac{10}{2,7 \cdot 10^4 + 10_B} = 3,62 \cdot 10^{-4}$$

2.4. Расчёт ожидаемых показателей надёжности ВОСП с RFTS

Произведём расчёт ожидаемых показателей надёжности функционирования ВОСП с учётом внедрения системы мониторинга

Анализ характерных причин неисправностей компонентов ВОСП показал, что не менее 70% отказов ВОСП может быть отнесено к постепенным, т.е. предотказное состояние обнаруживается системой мониторинга оптических волокон. С учётом этого коэффициент простоя при эксплуатации ВОСП, основанной на оптимальной стратегии восстановления (с применением системы мониторинга), для инженерного расчёта может быть определён по формуле:

$$K_{ЛТож}^{мон} = \frac{\lambda(T_B - 0,7 \cdot T_B)}{1 + \lambda T_B} \quad (2.10)$$

Подставляя значения в формулу (2.10) получим:

$$K_{ЛТож}^{мон} = \frac{3,6 \cdot 10^{-5}(10 - 0,7 \cdot 10)}{1 + 3,6 \cdot 10^{-5} \cdot 10} = 1,09 \cdot 10^{-4}$$

Таким образом, до внедрения систем удаленного мониторинга коэффициент простоя составлял $3,62 \cdot 10^{-4}$. При внедрении системы RFTS коэффициент простоя при эксплуатации ВОСП будет составлять $1,09 \cdot 10^{-4}$.

2.5. Задание

1. Произвести расчёт допустимых показателей надёжности функционирования для заданной ВОЛС.
2. Произвести расчёт ожидаемых показателей надёжности ВОСП без действующей системы мониторинга.
3. Произвести расчёт ожидаемых показателей надёжности ВОСП после внедрения RFTS.

Исходные данные и результаты расчёта свести в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Исходные данные и результаты расчётов

Параметр	Значение
Протяженность трассы, км	1XYZ
Интенсивность отказов одного мультиплексора λ_{MX}	$0, Z \cdot 10^{-6}$
среднее время между отказами оборудования ЦСП $T_0(E)$	
допустимый коэффициент готовности K_{Γ} для оборудования ЦСП	
Допустимый коэффициент простоя $K_{Пдоп}$	
Среднее время безотказной работы оборудования линейного тракта (ОЛТ) $T_0(L)$	
допустимого коэффициента простоя линейного тракта $K_{ЛТдоп}$	
суммарную интенсивность отказов	
Среднее время безотказной работы линейного тракта T_0	
Ожидаемый коэффициент простоя ВОСП без применения RFTS $K_{ЛТожд}$	
Коэффициент простоя при ВОСП с применением RFTS $K_{ЛТожд}^{мон}$	
* – XYZ – последние три цифры шифра	

Сделать выводы относительно об эффективности внедрения системы мониторинга:

1. Сравнить результаты расчётов п.2.2 – 2.4 для оборудования линейного тракта.
2. На сколько эффективно внедрение системы мониторинга?