

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича»
Кафедра **Фотоники и линий связи**
(полное наименование кафедры)

Б.К.Никитин, Г.М. Смирнов

Методические указания и
контрольные задания по дисциплине

Техническая эксплуатация ВОЛС
для студентов, обучающихся по направлению 11.03.02
«Инфокоммуникационные системы и сети связи»

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2016

Никитин Б.К., Смирнов Г.М. Методические указания к контрольной работе по дисциплине «Техническая эксплуатация ВОЛС» (направление 11.03.02) / СПб ГУТ. СПб, 2016.

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом университета

Содержит программу, методические указания, контрольные задания и необходимую литературу по дисциплине «Техническая эксплуатация ВОЛС». Методические указания предназначены для студентов вуза, обучающихся по направлению 11.03.02 (профиль – Оптические системы и сети связи .)

Рецензент

проф. кафедры Сетей связи

Б.Г. Осипов

© Б.К.Никитин, Г.М. Смирнов, 2016

© Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», 2016.

Подписано к печати _____

Объёмпеч. листов. Тираж Заказ

РИО СПб ГУТ. 191186 СПб, наб. р. Мойки, 61

Введение.

Дисциплина «Техническая эксплуатация ВОЛС» должна обеспечивать формирование фундамента подготовки будущих специалистов в области строительства и эксплуатации телекоммуникационных систем, а также, создавать необходимую базу для успешного овладения последующими специальными дисциплинами учебного плана. Она должна способствовать развитию творческих способностей студентов, умению формулировать и решать задачи изучаемой специальности, умению творчески применять и самостоятельно повышать свои знания. Дисциплина является одной из первых, где студенты получают современное представление о принципах построения системы технической эксплуатации ВОЛС (СТЭ ВОЛС), как на первичных сетях различного уровня, так и абонентских сетях широкополосного доступа. Она находится на стыке дисциплин, обеспечивающих базовую и специальную подготовку студентов. По рассматриваемой дисциплине студенты выполняют контрольную работу и лабораторный практикум. Защита контрольной работы и лабораторного практикума должны предшествовать сдаче экзамена по дисциплине.

Программа дисциплины.

1. Задачи технической эксплуатации ВОЛС и ее организация. Нормативно-техническая документация.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите какие подсистемы входят в структуру системы технической эксплуатации (СТЭ) ВОЛС.
2. Что входит в состав нормативно-технической документации по СТЭ ВОЛС?

2. Методы оценки характеристик ВОК в структуре системы технической эксплуатации.

Рассматриваются методики определения требуемых эксплуатационных параметров ВОК при различных вариантах строительства - подземные способы, подводные, воздушные.

Вопросы для самопроверки

1. Какие эксплуатационные характеристики ВОК являются определяющими при реализации различных вариантов строительства?
2. Каким образом в процессе технической эксплуатации ВОЛС определяются отказы?

3. Что является критерием оценки надежности ВОЛС?

3. Система технической эксплуатации линейных сооружений связи. Структура системы.

Теоретические основы построения системы технической эксплуатации ВОЛС

Вопросы для самопроверки

1. Как можно представить систему технической эксплуатации и обосновать количество ремонтных бригад?
2. Сколько нужно иметь в резерве кабеля для его замены в случае повреждения ВОЛС?

4. Повреждения ВОЛС. Основные причины. Параметры оценки качества работы линейных трактов.

Воздействие окружающей среды на ВОЛС различного уровня. Отказы линейных трактов кабельных магистралей. Статистика повреждений и анализ основных причин, вызывающих отказы. Показатели надежности линейных трактов. Понятие коэффициента готовности и времени восстановления.

Вопросы для самопроверки

1. Основные факторы, которые воздействуют на ВОЛС, проложенных непосредственно в грунт.
2. Основные факторы, которые воздействуют на ВОЛС, проложенных в защитные пластмассовые трубы.
3. Основные факторы, которые воздействуют на ВОЛС, проложенных в кабельной канализации.
4. Основные факторы, которые воздействуют на ВОЛС реализованной на основе кабеля типа 8-ки.
5. Основные факторы, которые воздействуют на ВОЛС реализованной на основе кабеля в грозозащитном тросе.
6. Основные факторы, которые воздействуют на ВОЛС, реализованной на основе самонесущего кабеля.
7. Основные факторы, которые воздействуют на ВОЛС, реализованной по навивной технологии.

5. Проведение РВР. Системы резервирования линейных трактов. Волоконно-оптические кабельные вставки.

Методы проведения ремонтно-восстановительных работ. Пути сокращения времени простоя тракторов при возникновении отказов. Системы резервирования линейных тракторов. Волоконно-оптические кабельные вставки. Методы контроля параметров кабельных вставок.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое системы мониторинга и для чего они предназначены?
2. Зачем нужны волоконно-оптические кабельные вставки и что они обеспечивают?
3. Каким образом можно сократить потери трафика на поврежденной ВОЛС?
4. Какие параметры волоконно-оптических кабельных вставок контролируются и какими методами?

Контрольные задания и указания к выполнению.

1. Некоторые вопросы из теории надежности.

По теории надежности отказы рассматриваются как случайные события. Интервал времени от момента включения ВОЛС до первого отказа является случайной величиной, называемой «время безотказной работы».

Интегральная функция распределения этой случайной величины, представляющая собой (по определению) вероятность того, что время безотказной работы будет менее t , обозначается $Q(t)$ и имеет смысл вероятности отказа на интервале $0 \dots t$. Вероятность противоположного события – безотказной работы на этом интервале – равна:

$$p(t) = 1 - Q(t) . \quad (1.1)$$

Удобной мерой надежности элементов и систем является интенсивность отказов $\lambda(t)$, представляющая собой условную плотность вероятности отказов в момент t , при условии, что до этого момента отказов не было. Между функциями $\lambda(t)$ и $P(t)$ существует взаимосвязь.

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau} . \quad (1.2)$$

В период нормальной эксплуатации (после приработки, но еще до того, как наступил физический износ) интенсивность отказов примерно постоянна $\lambda(t) \approx \lambda$. В этом случае:

$$P(t) = e^{-\lambda t} . \quad (1.3)$$

Таким образом, постоянной интенсивности отказов, характерной для периода нормальной эксплуатации, соответствует экспоненциальное уменьшение вероятности безотказной работы с течением времени.

Среднее время безотказной работы (наработки на отказ) находят как математическое ожидание случайной величины «время безотказной работы».

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} t \left[\frac{dQ(t)}{dt} \right] dt = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \text{ час}^{-1}. \quad (1.4)$$

Следовательно, среднее время безотказной работы в период нормальной эксплуатации обратно пропорционально интенсивности отказов:

$$t_{cp} = \frac{1}{\lambda} \quad (1.5)$$

Оценим надежность некоторой сложной системы, состоящей из множества разнотипных элементов.

К числу основных характеристик надежности восстанавливаемых систем относится коэффициент готовности, который определяется по формуле:

$$K_2 = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + t_6}, \quad (1.6)$$

где t_6 – среднее время восстановления элемента (системы), он соответствует вероятности того, что элемент (система) будет работоспособен в любой момент времени.

Интенсивность отказов линейного тракта определяют как сумму интенсивностей отказов НРП, ОРП и кабеля:

$$\Lambda_{сист} = \lambda_{нрп} \times N_{нрп} + \lambda_{орп} \times N_{орп} + \lambda_{каб} \times L, \quad (1.7.)$$

где $\lambda_{нрп}, \lambda_{орп}$ – интенсивности отказов НРП и ОРП;

$N_{нрп}, N_{орп}$ – количество НРП и ОРП;

λ_k – интенсивность отказов одного километра кабеля;

L – протяженность магистрали.

2. Пример расчета показателей надежности.

Примем интенсивность отказов 1 км оптического кабеля, равной $\lambda_k = 3,88 \times 10^{-6} \text{ час}^{-1}$. Протяженность трассы 76 км.

Наработка на отказ аппаратуры равна 10 годам или 87600 часов, откуда интенсивность отказов будет равна $\lambda_{анп} = 10^{-7}$. Значения необходимых параметров сведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2.

Показатели надёжности	ОРП	Кабель на 1 км
Интенсивность отказов λ , 1/ч	10^{-7}	$3,88 \times 10^{-6}$
Время восстановления повреждения, t_6 , ч	0,5	6,0 (см. примечания)

Воспользуемся выражением 1.7 только без учета интенсивности отказов НРП т.к. расчет производим только для одного участка ВОЛС где НРП отсутствуют.

$$\Lambda_{сист} = 10^{-7} \times 2 + 3,88 \times 10^{-6} \times 76 = 296,88 \times 10^{-6} \frac{1}{ч}.$$

Определим среднее время безотказной работы по выражению 1.5 для исследуемого линейного тракта ВОЛС:

$$t_{CP.} = \frac{1}{296,88 \times 10^{-6}} = 3368,4 \text{ ч.}$$

Вероятность безотказной работы в течение суток $t_1 = 24$ часа:

$$P_{сист}(t) = e^{-296,88 \times 10^{-6} \times 24} = 0,9783.$$

В течение недели $t_2 = 168$ часов:

$$P_{сист}(t) = e^{-296,88 \times 10^{-6} \times 168} = 0,9417.$$

В течение месяца $t_3 = 720$ часов:

$$P_{сист}(t) = e^{-296,88 \times 10^{-6} \times 720} = 0,9164.$$

В течение года $t_4 = 8760$ часов:

$$P_{сист}(t) = e^{-296,88 \times 10^{-6} \times 8760} = 0,8180.$$

Рассчитаем коэффициент готовности. Предварительно найдем среднее время восстановления связи по формуле:

$$t_6 = \frac{\lambda_{нрп} \times N_{нрп} \times t_{в.нрп} + \lambda_{орп} \times N_{орп} \times t_{в.орп} + \lambda_{каб} \times L \times t_{в.каб}}{\Lambda_{сист}}, \text{ ч} \quad (1.18.)$$

где $t_{в.нрп}, t_{в.орп}, t_{в.каб}$ – время восстановления соответственно НРП, ОРП и кабеля (см. примечания).

В расчетах определяем среднее время восстановления только кабеля, так как время восстановления ОРП очень мало, а НРП нет.

$$t_6 = \frac{3,88 \cdot 10^{-6} \times 76 \times 6}{296,88 \cdot 10^{-6}} = 15,93 \text{ ч.}$$

Теперь найдем коэффициент готовности по формуле 1.6:

$$K_2 = \frac{3368,4}{3368,4 + 15,93} = 0,98705.$$

Расчёты вероятности безотказной работы занесём в таблицу 1.3.

Таблица 1.3.

Вероятность безотказной работы P(t)	Интервал времени t, ч				
	0	24	168	720	8760
	1	0,9783	0,9417	0,9164	0,8180

Требования по показателям надежности для линий внутризонавой сети таблица 1.4.

Таблица 1.4. Для внутризонавой первичной сети, где протяженность ВОЛС не превышает $L_{впс} = 1400$ км.

Показатель надежности.	Канал ТЧ или ОЦК.	Канал ОЦК на перспективной цифровой сети (SDH).	Оборудование линейного тракта.

Вероятность безотказной работы в течении года.	0,96	0,87	0,81
Коэффициент готовности.	>0,99	>0,998	>0,99
Время восстановления.	<1,1	<4,24	См. примечание

Вывод: при заданных параметрах расчеты показывают, что система технической эксплуатации обеспечивает заданную надежность и работоспособность ВОЛС по оборудованию линейного тракта, однако по каналам ОЦК или трактам SDH эта вероятность несколько ниже допустимых значений, что требует обратить серьезное внимание на обслуживание оборудования.

3. Задание на выполнение контрольной работы.

Вариант задания определяется последними двумя цифрами студенческого билета (зачетной книжки).

Прежде всего, студент должен оформить исходные данные для расчета в соответствии со своим вариантом.

Пример оформления исходных данных для выполнения контрольного задания:

- номер задания (последние цифры студенческого билета).....;
- исходные данные из табл. 1.5.;
 - вариант строительства ВОЛС;
 - протяженность трассы;
 - количество волокон в кабеле;
 - тип объекта.

Затем выполнить расчет по указанным выражениям и сделать вывод о соответствии параметров надежности полученных в расчетах целевым значениям, указанным в табл. 1.4., а также сравнить расчетное время восстановления для своего варианта с рекомендуемым в **ПРИМЕЧАНИЯХ**.

В случае превышения этих показателей необходимо предложить рекомендации для системы технической эксплуатации по их достижению.

Для расчета проектной надежности ВОЛС в задаче воспользуйтесь следующими параметрами по вариантам (варианты приведены в таблице 1.5), при этом необходимо учесть последующие замечания по времени восстановления линейного тракта при различных вариантах строительства ВОЛС (см. **ПРИМЕЧАНИЯ**).

Таблица 1.5.

№ варианта	λ_K для кабелей, прокладываемых в грунт, в ЗПТ. $3,88 \times 10^{-6} \text{ час}^{-1}$	λ_K для кабелей прокладываемых непосредственно в грунт. $4,08 \times 10^{-5} \text{ час}^{-1}$	λ_K для кабелей прокладываемых в кабельную канализацию. $2,78 \times 10^{-5} \text{ час}^{-1}$	λ_K для кабелей типа 8-ки, подвешиваемых на опорах распределительных ЛЭП или воздушных линиях связи. $2,78 \times 10^{-4} \text{ час}^{-1}$	λ_K для кабелей в грозозащитном тросе. $3,02 \times 10^{-7} \text{ час}^{-1}$	λ_K для самонесущих ВОК, подвешиваемых на опорах, или опорах контактной сети ЭЖД. $4,56 \times 10^{-6} \text{ час}^{-1}$	λ_K для ВОЛС выполненных по навивной технологии. $4,32 \times 10^{-5} \text{ час}^{-1}$
01, 11, 21	При $L_{уч}=30$ км и числе ОВ 16						
02, 12, 22		При $L_{уч}=40$ км и числе ОВ 24					
03, 13, 23			При $L_{уч}=12$ км и числе ОВ 32				
04, 14, 24				При $L_{уч}=20$ км и числе ОВ 12 без отключения ЛЭП			
05, 15, 25					При $L_{уч}=60$ км и числе ОВ 36 ЛЭП 110 кВ, трасса на равнинной местности		
06, 16, 26						При $L_{уч}=30$ км и числе ОВ 44, подъезд к опорам свободен	
07, 17, 27							При $L_{уч}=20$ км и числе ОВ 12, подъезд к опорам свободен
08, 18, 28	При $L_{уч}=40$ км и числе ОВ 16						
09, 19, 29		При $L_{уч}=30$ км и числе ОВ 28					
10, 20, 30			При $L_{уч}=10$ км и числе ОВ 24				
31, 32, 33				При $L_{уч}=28$ км и числе ОВ 8 с отключением ЛЭП			
34, 35, 36					При $L_{уч}=40$ км и		

					числе ОВ 28 ЛЭП 35 кВ, трасса в сложно- пересеченной местности		
37, 38, 39						При $L_{уч}=40$ км и числе ОВ 32, подъезд к опорам ограничен	
40, 50, 60							При $L_{уч}=30$ км и числе ОВ 16, подъезд к опорам ограничен
41, 42, 43	При $L_{уч}=24$ км и числе ОВ 32						
44, 45, 46		При $L_{уч}=38$ км и числе ОВ 16					
47, 48, 49			При $L_{уч}=8$ км и числе ОВ 12				
51, 52, 53				При $L_{уч}=28$ км и числе ОВ 24 без отключения ЛЭП			
54, 55, 56					При $L_{уч}=20$ км и числе ОВ 36 ЛЭП 35 кВ, трасса с большими пролетами через водные преграды		
57, 58, 59						При $L_{уч}=60$ км и числе ОВ 24, отсутствуют защитные контейнеры для размещения технологического запаса ВОК	
61, 62, 63							При $L_{уч}=24$ км и числе ОВ 18, отсутствуют защитные контейнеры для

							размещения технологического запаса ВОК
64, 65, 66							При $L_{уч}=36$ км и числе ОВ 24, сложный рельеф местности
67, 68, 69						При $L_{уч}=28$ км и числе ОВ 16, сложный рельеф местности	
70, 80, 90					При $L_{уч}=28$ км и числе ОВ 48 ЛЭП 110 кВ, трасса в горных условиях		
71, 72, 73				При $L_{уч}=18$ км и числе ОВ 24 с отключением ЛЭП			
74, 75, 76			При $L_{уч}=12$ км и числе ОВ 24				
77, 78, 79		При $L_{уч}=48$ км и числе ОВ 42					
81, 82, 83	При $L_{уч}=46$ км и числе ОВ 28						
84, 85, 86							При $L_{уч}=16$ км и числе ОВ 16, существуют протяженные пролеты более 200 м
87, 88, 89						При $L_{уч}=38$ км и числе ОВ 26, существуют протяженные пролеты более 200 м	
91, 92, 93					При $L_{уч}=34$ км и числе ОВ 42 ЛЭП 110 кВ, трасса в		

					северных широтах		
94, 95, 96				При $L_{уч}=16$ км и числе ОВ 14 без отключения ЛЭП			
97, 98, 99			При $L_{уч}=8$ км и числе ОВ 32				
00		При $L_{уч}=38$ км и числе ОВ 24					

ВНИМАНИЕ: обратите серьезное внимание на ПРИМЕЧАНИЯ от этого зависит правильность выполнения контрольного задания.

ПРИМЕЧАНИЯ.

В расчетах принимать во внимание следующие замечания:

- $\lambda_{ОРП} = 10^{-7}$ 1/час;

- $N_{ОРП} = 2$, если рассматривается один участок,

t_6 – время восстановления оптического кабеля равно:

- **проложенного в грунт в ЗПТ** – 14 час при количестве ОВ – 12, увеличение количества волокон в кабеле на последующие 2, приводит к увеличению времени восстановления на 0,5 часа, уменьшение количества волокон на последующие 2, приводит, соответственно, к сокращению времени восстановления на 0,5 часа;

- **проложенного непосредственно в грунт** – 12 час при количестве ОВ – 12, увеличение количества волокон в кабеле на последующие 2, приводит к увеличению времени восстановления на 0,5 часа, уменьшение количества волокон на последующие 2, приводит, соответственно, к сокращению времени восстановления на 0,5 часа;

- **проложенного в кабельную канализацию** – 16 час при количестве ОВ – 12, увеличение количества волокон в кабеле на последующие 2, приводит к увеличению времени восстановления на 0,5 часа, уменьшение количества волокон на последующие 2, приводит, соответственно, к сокращению времени восстановления на 0,5 часа;

- **для кабелей типа 8-ки**, подвешенного на опорах распределительных ЛЭП не ближе чем 3 м от фазового провода - 8 час при количестве ОВ – 12, увеличение количества волокон в кабеле на последующие 2, приводит к увеличению времени восстановления на 0,5 часа, уменьшение количества волокон на последующие 2, приводит, соответственно, к сокращению времени восстановления на 0,5 часа

- **для кабелей типа 8-ки**, подвешенного на опорах распределительных ЛЭП при расположении ВОК менее чем в трех метрах от фазового провода необходимо отключение ЛЭП, что увеличивает время проведения ремонтных работ еще на 2 часа, т.е. 10 часов при количестве ОВ – 12, увеличение количества волокон в кабеле на последующие 2, приводит к увеличению времени восстановления на 0,5 часа, уменьшение количества волокон на последующие 2, приводит, соответственно, к сокращению времени восстановления на 0,5 часа;

- **для ВОК в грозотросе** время восстановления определяется мощностью ЛЭП, профилем трассы, может быть принято равным в пределах 24 – 42 часов, для ЛЭП 35 кВ, ЛЭП 110 кВ;

- трасса по ЛЭП 110 кВ на равнинной местности – 24 часа;

- трасса по ЛЭП 35 кВ в сложно-пересеченной местности – 28 часов;

- трасса по ЛЭП 35 кВ, с большими пролетами через водные преграды – 36 часов;

- трасса по ЛЭП 110 кВ, в горных условиях – 42 часа;

- трасса по ЛЭП 110 кВ в северных широтах – 38 часов;

- **для самонесущих ВОК** время восстановления зависит от механических характеристик последних и возможностей подъезда к месту повреждения, принимать равным от 16 до 20 часов;

- подъезд к опорам свободен – 16 часов;
- подъезд к опорам ограничен – 18 часов;
- отсутствуют защитные контейнеры для размещения технологического запаса ВОК – 20 часов;
- сложный рельеф местности – 18 часов;
- существуют протяженные пролеты более 200 м – 20 часов.
- для **ВОЛС по навивной технологии** – время восстановления принимать равным от 16 до 28 часов в случаях;
 - подъезд к опорам свободен – 16 часов;
 - подъезд к опорам ограничен – 20 часов;
 - отсутствуют защитные контейнеры для размещения технологического запаса ВОК – 24 часов;
 - сложный рельеф местности – 28 часов;
 - существуют протяженные пролеты более 200 м – 22 часа.

Время восстановления ВОЛС для вариантов

- **ВОК в грозотросе;**
- **самонесущих ВОК;**
- **ВОЛС по навивной технологии;**

также определяется количеством волокон в кабеле и задано для **числа волокон равном 24**, увеличение количества волокон в кабеле на последующие 2, приводит к увеличению времени восстановления на 0,5 часа, уменьшение количества волокон на последующие 2, приводит, соответственно, к сокращению времени восстановления на 0,5 часа;

4. Учебно-методическая литература.

1. Иванов, В. С. Строительство ВОЛС. Современные технологии и организация строительства ВОЛС [Электронный ресурс]: учебное пособие: в 2 ч. / В. С. Иванов, Б. К. Никитин, Р. Я. Пирмагомедов; рец.: Т. И. Васильева, П. А. Окладников; Федер. агенство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2015. – Ч. 1. – 71 с., тираж 30 экз; Ч. 2. – 76 с., тираж 30 экз.
2. Никитин, Борис Константинович. Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации направляющих систем электросвязи: учебное пособие / Б. К. Никитин, Л. Н. Кочановский ; рец.: Е. Б. Стогов, Т. И. Васильева ; Федеральное агентство связи, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникации им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2010. - 192 с.
3. Глаголев, С. Ф. Передаточные характеристики оптических волокон: учебное пособие (спец. 210401, 210404, 210406) / С. Ф. Глаголев, В. С. Иванов, Л. Н. Кочановский ; рец. Б. К. Чернов ; Федеральное агентство связи, СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. - СПб. : СПбГУТ, 2005. - 80 с.

4. Никитин, Борис Константинович. Современные технологии строительства и эксплуатации ВОЛС : учебное пособие / Б. К. Никитин, Г. М. Смирнов, С. Ф. Глаголев ; рец.: Т. И. Васильева, Б. Г. Осипов ; Федеральное агентство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2012. - 106 с. – (37 экз.).