

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

ОПТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА В РАДИОТЕХНИКЕ

Методические указания по выполнению заданий СРС

Составители:
Н. В. Садовский
И. Н. Садовский



Владимир 2019

УДК 681.7.068
ББК 34.942
О-60

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент
профессор кафедры радиотехники и радиосистем
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
В. М. Гаврилов

Оптические устройства в радиотехнике : метод. указания
О-60 по выполнению заданий СРС / Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г.
Столетовых ; сост.: Н. В. Садовский, И. Н. Садовский. – Влади-
мир : Изд-во ВлГУ, 2019. – 20 с.

Методические указания по выполнению СРС направлены на ознакомление студентов с основными законами геометрической оптики, параметрами волоконно-оптических устройств и систем, методами их расчета и оценки технических характеристик с помощью программы математического моделирования.

Разработаны на основе учебных планов и рабочих программ по подготовке бакалавров по направлениям «Радиотехника», «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и предназначены для студентов старших курсов указанных направлений при изучении дисциплин «Оптические устройства в радиотехнике», «Волоконно-оптические устройства и системы», «Применение оптических технологий в инфокоммуникационной технике».

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Ил. 13. Библиогр.: 6 назв.

УДК 681.7.068
ББК 34.942

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа выполняется с применением программы математического моделирования элементов волоконно-оптических систем передачи OPTICS. Программа содержит семь разделов: физика света, общие характеристики оптоволокна, потери в оптических соединителях, общие параметры ВОСП, параметры оптических кабелей, потери в оптических кабелях, оценка надежности ВОЛС.

В каждом разделе производится расчет основных параметров оптических линий и систем передачи. Преподаватель выдаёт студенту индивидуальное задание с исходными данными для математического моделирования.

При выполнении расчетов полученные результаты моделирования студенты представляют в виде графиков зависимостей конечных параметров от изменяющихся исходных данных в определенных преподавателем пределах.

По окончании работы в каждом разделе студенту необходимо сделать выводы, которые обсуждаются с преподавателем.

Раздел 1. ФИЗИКА СВЕТА

В первый раздел «Физика света» входит 11 задач:

1. Закон преломления света.
2. Ход луча в клине.
3. Ход луча в призме.
4. Ход луча в плоскопараллельной пластине.
5. Расчет наименьшего угла падения света на входящую грань призмы, при котором происходит полное внутреннее отражение лучей от гипотенузной грани.
6. Расчет показателя преломления вещества по углу наименьшего отклонения луча в призме.
7. Расчет показателя преломления пластины.
8. Фокусное расстояние рассеивающей линзы.
9. Фокусное расстояние цилиндрической линзы.
10. Дифракция света на круглом отверстии.
11. Коэффициент отражения Френеля.

Пример окна программы «OPTICS» для задачи № 1 раздела «Физика света» приведен на рис. 1 с двумя вариантами заданий.

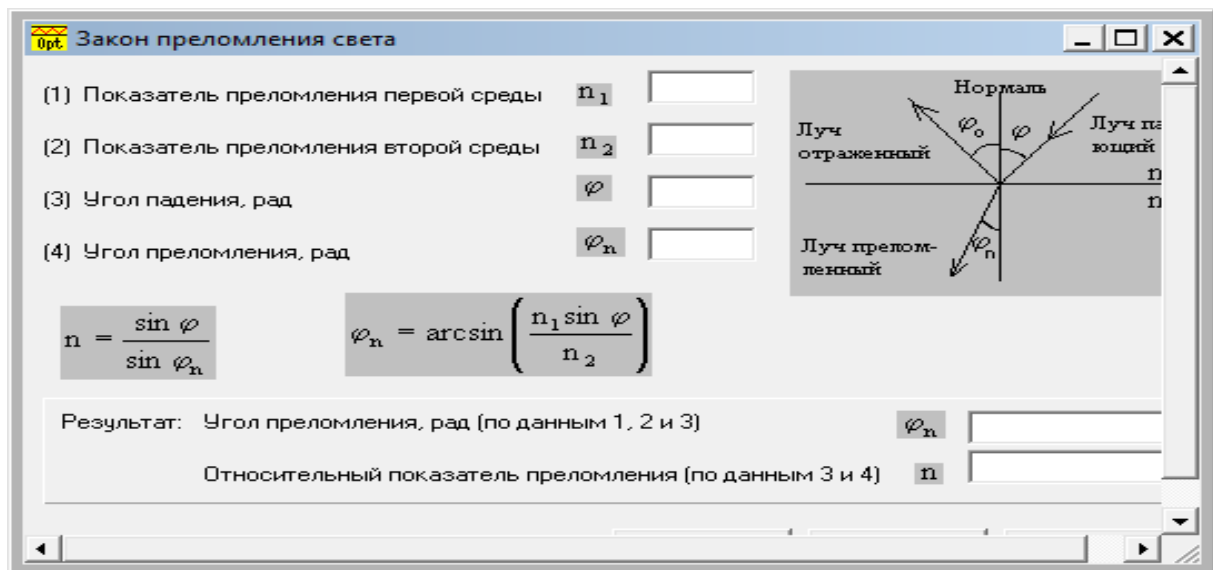


Рис. 1

Задание 1. Ввести показатели преломления первой среды n_1 и второй n_2 , исследовать зависимость угла преломления φ_n от угла падения φ .

Задание 2. Продемонстрировать эффект полного внутреннего отражения, изменяя значения n_1 , n_2 и φ .

Раздел 2. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Во второй раздел входят следующие задачи:

1. Числовая апертура оптического волокна.
2. Нормированная частота (обобщенный параметр) оптического волокна.
3. Критическая частота в оптическом волокне.
4. Расчет диаметра сердцевины для обеспечения одномодового режима:
 - волокно со ступенчатым профилем.
 - волокно с градиентным профилем.
 - волокно с треугольным профилем.
5. Коэффициент распространения оптического волокна.
6. Дисперсия в оптических волокнах:
 - межмодовая дисперсия для многомодовых волокон.
 - волноводная дисперсия одномодового волокна.
 - материальная дисперсия.
7. Число модификаций в ступенчатом и градиентном оптическом волокне.
8. Расчет поперечных волновых чисел в оптическом волокне.
9. Фазовая скорость.
10. Глубина проникновения мод.

Примеры окон программы «OPTICS» ко второму разделу приведены для задач № 1, 2 и 7 на рис. 2, 3, 4 соответственно.

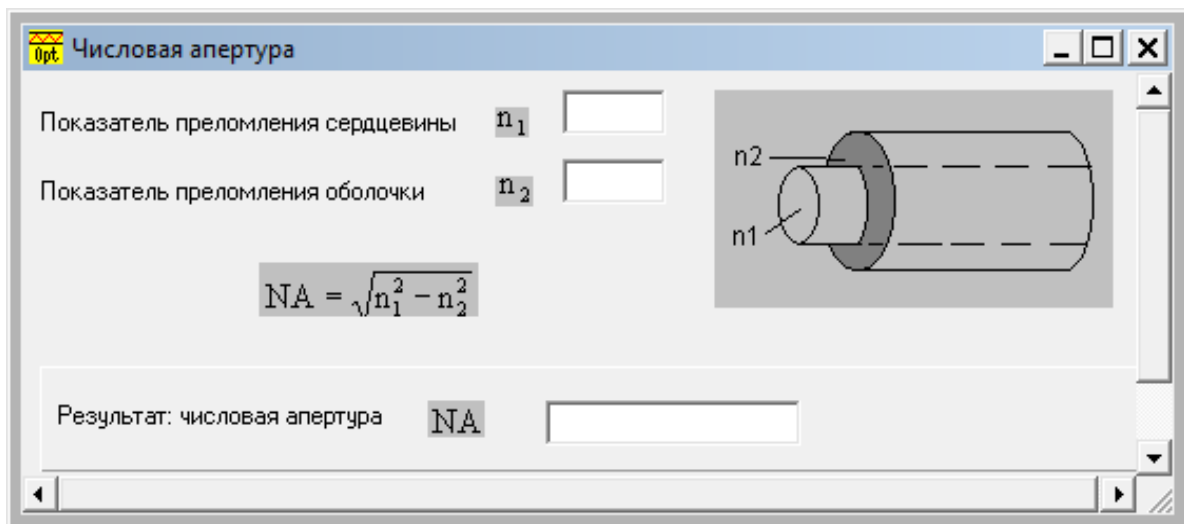


Рис. 2

Задание 1. Ввести значение показателя преломления сердцевины n_1 . Изменяя значение показателя преломления оболочки n_2 , построить графики зависимости числовой апертуры NA от n_2 .

Задание 2. Определить при каких значениях n_1 и n_2 числовая апертура принимает значение 0,1; 0,2 и 0,3.

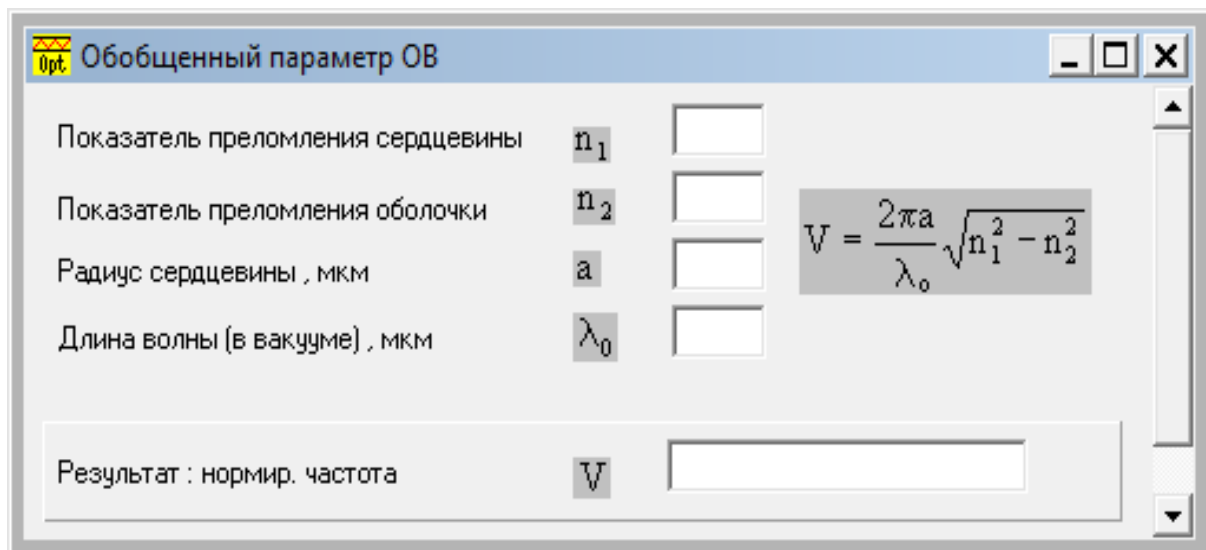


Рис. 3

Задание 1. По заданным значениям показателя преломления сердцевины и оболочки (n_1 и n_2) и длины волны λ_0 определить значе-

ние радиуса сердцевины, при котором в волокне будет одномодовый режим ($V < 2,405$).

Задание 2. По данным значениям показателей n_1 , n_2 и радиуса сердцевины определить диапазон значений длины волны, обеспечивающий одномодовый режим в оптическом волокне.

The screenshot shows a software window titled "Число типов волн (градиентное волокно)". It contains four input fields with labels: "Длина волны, мкм" (wavelength λ), "Показатель преломления сердцевины" (core refractive index n_1), "Показатель преломления оболочки" (cladding refractive index n_2), and "Радиус сердцевины, мкм" (core radius a). To the right of these fields is a formula for the number of modes N :

$$N = \frac{1}{4} \left(\frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right)^2$$

At the bottom, there is a label "Результат: число типов волн" followed by a variable N and an empty output field.

Рис. 4

Задание 1. Ввести значения показателей преломления n_1 , n_2 и длины волны. Исследовать зависимость числа типов волн от радиуса сердцевины.

Задание 2. Подобрать значение независимых параметров, обеспечивающих одномодовый режим.

Раздел 3. ПОТЕРИ В ОПТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ

В раздел 3 «Потери в оптических соединениях» входят следующие 9 задач:

1. Радиальное смещение.
2. Осевое рассогласование.
3. Угловое рассогласование.
4. Неперпендикулярность торцов.
5. Кривизна поверхности торцов.
6. Неидентичность радиусов середины.
7. Неидентичность числовых апертур.
8. Неидентичность профилей показателей преломления.
9. Френелевские потери.

Примеры окон программы OPTICS, соответствующих разделу 3, приведены для задач № 1 и № 2 на рис. 5 и 6 соответственно с заданиями.

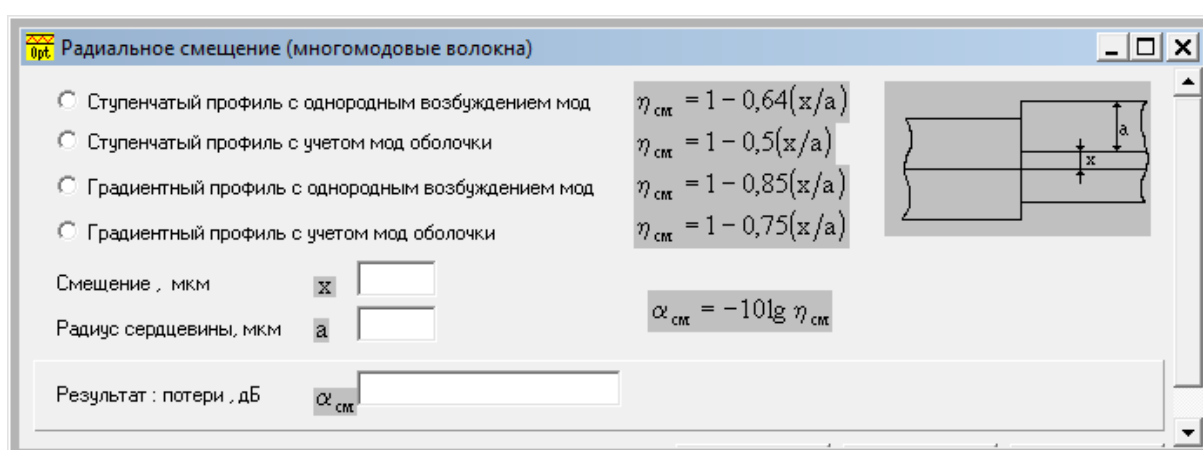
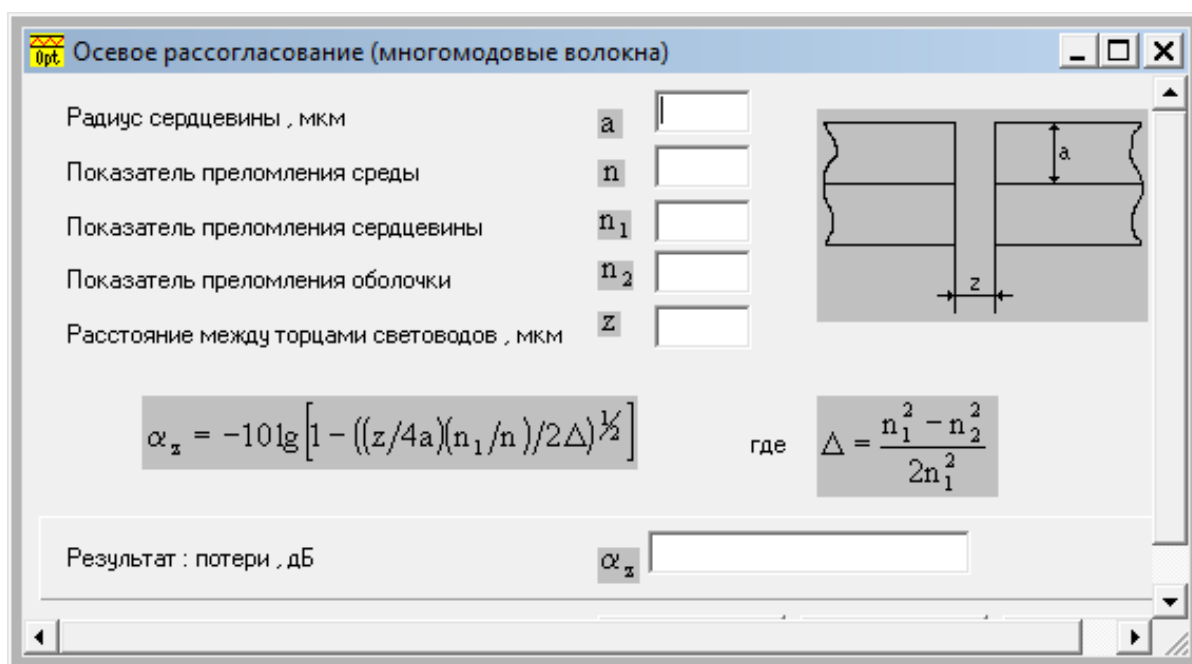


Рис. 5

Задание 1. Исследовать зависимость коэффициента затухания от величины радиального смещения многомодовых оптических волокон.

Задание 2. Определить для заданного типа волокна величину смещения, обеспечивающего потери 3дБ.



Осевое рассогласование (многомодовые волокна)

Радиус сердцевины, мкм: a

Показатель преломления среды: n

Показатель преломления сердцевины: n_1

Показатель преломления оболочки: n_2

Расстояние между торцами световодов, мкм: z

$$\alpha_z = -10 \lg \left[1 - \left((z/4a)(n_1/n)/2\Delta \right)^{1/2} \right]$$
 где
$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$$

Результат : потери, дБ: α_z

The diagram shows two rectangular optical fibers with radius 'a' offset by a distance 'z' between their centers.

Рис. 6

Задание 1. Исследовать зависимость коэффициента затухания от осевого рассогласования многомодовых волокон.

Задание 2. Определить при выбранных исходных данных для независимых параметров a , n , n_1 , n_2 величину осевого рассогласования, при которой потери равны 3 дБ.

Раздел 4. ОБЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

В разделе 4 «Общие параметры ВОСП» входят следующие задачи:

1. Длина регенерационного участка.
2. Определение максимально возможного числа каналов связи.
3. Расчёт величины измерения импульсов в волокне со ступенчатым и градиентным профилем показателя преломления.
4. Динамический диапазон ВОСП.
5. Ширина полосы пропускания.
6. Суммарные потери на разветвлениях для последовательной и звездообразной систем.
7. Упрощенный расчёт суммарных потерь на разветвления.
8. Динамический диапазон для последовательной системы распределения.
9. Расчёт общего времени технического обслуживания ВОСП.

Примеры окон программы OPTICS для раздела 4 приведены для задач № 1 и 8 на рис. 7 и 8 с соответствующими заданиями.

Длина регенерационного участка

Максимальный уровень мощности излучателя, дБ	P_0	
Уровень наибольшей чувствительности приемника, дБ	P_L	
Энергетический запас (обычно выбирается в пределах 3 - 5 дБ)	ΔS	
Потери при вводе и выводе излучения в волоконную систему (обычно в пределах 3 - 5 дБ)	$\alpha_{в}$	
Потери в разъёмных соединителях (обычно 1 - 1.5 дБ)	$\alpha_{р.с}$	
Потери в неразъёмных соединителях (обычно 0.1 - 0.5 дБ)	$\alpha_{н.с}$	
Коэффициент затухания оптического кабеля, дБ/км	$\alpha_{к}$	
Строительная длина оптического кабеля, м	$l_{с.д}$	

$$l_p = \frac{S - \alpha_{в} - 2\alpha_{р.с}}{\alpha_{к} + \alpha_{н.с} / l_{с.д}}$$

где $S = (P_0 - P_L) - \Delta S$

Результат : длина регенерационного участка, км l_p

Рис. 7

Задание 1. Исследовать влияние на длину регенерационного участка величины затухания в оптическом кабеле.

Задание 2. Определить, при какой комбинации параметров кабеля длина регенерационного участка будет меньше 20 км.

Динамический диапазон

Потери в разъеме, дБ α_p

Отношение входящей в ответитель мощности к выходящей Q

Доля мощности, отводимой из общей оптической мощности к терминалу q

Число терминалов в линии N

Коэффициент затухания ОВ, дБ/км α

Длина волоконно-оптической линии связи, км L

Результат: Динамический диапазон, дБ D_n

$$D_n = \left[(\alpha_p)^2 \alpha_o \left(\frac{N-2}{N-1} \right) \bar{A} \right]^{2-N}$$

где $\alpha_o = \frac{Q}{1-2q}$ и $\bar{A} = 10^{-0.05 \alpha \frac{L}{N-1}}$

Рис. 8

Задание 1. Определить динамический диапазон системы с последовательным распределением в зависимости от числа терминалов линии.

Задание 2. Определить динамический диапазон системы с последовательным распределением в зависимости от доли мощности, отводимой из общего канала к терминалу.

Раздел 5. ПОТЕРИ В ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЯХ

В раздел 5 входят следующие задачи:

1. Потери в оптических волокнах.
2. Общее затухание в оптическом кабеле.
3. Потери рассеяния и поглощения.
4. Потери на макроизгибах.
5. Потери на микроизгибах.
6. Приращение затухания при скрутке оптического кабеля.
7. Потери в защитной оболочке.

Примеры окон программы OPTICS для задач № 4 и 5 приведены на рис. 9 и 10 с соответствующими вариантами заданий.

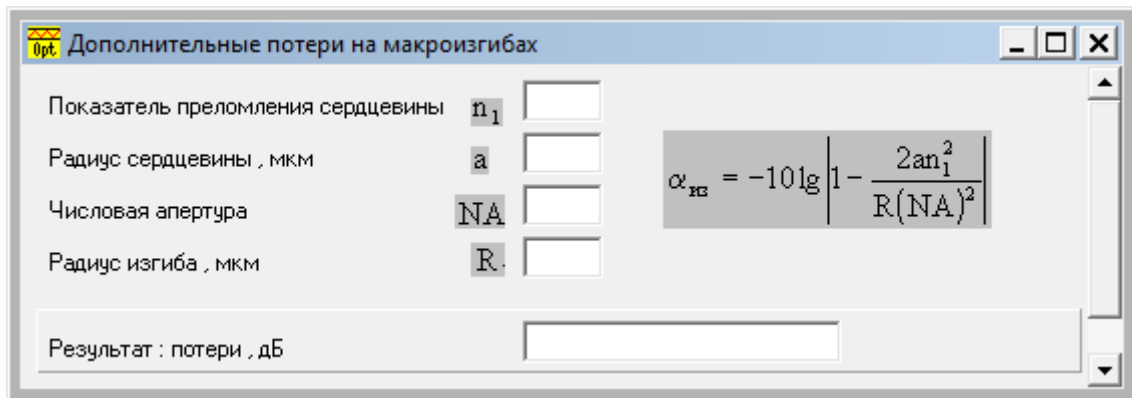


Рис. 9

Задание 1. Для заданных значений независимых параметров построить зависимость коэффициента затухания от числовой апертуры.

Задание 2. Для заданных значений радиуса сердцевины, показателя преломления n_1 и числовой апертуры определить значение радиуса изгиба, при котором потерями можно пренебречь.

Потери на микроизгибах

Показатель преломления сердцевины n_1

Радиус сердцевины , мкм a

Радиус микроизгиба , мкм h

Радиус оптоволокна , мкм b

Числовая апертура NA

Число микроизгибов на единицу длины N

$$\alpha_{\text{мик}} = N \frac{8h^2 a^4 n_1^6}{b^6 (NA)^6}$$

Результат : потери , дБ $\alpha_{\text{мик}}$

Рис. 10

Задание 1. Построить зависимость коэффициента затухания на микроизгибе от числовой апертуры.

Задание 2. Определить, при каком значении радиуса микроизгиба h при заданных других независимых параметрах потери в микроизгибе не превышают 1 дБ.

Раздел 6. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

В раздел входят следующие задачи:

1. Растягивающие нагрузки:
 - растяжение кабеля в канализации на спуск и подъем,
 - воздушные нагрузки (без учёта ветров),
 - нагрузка в грунте,
 - нагрузка на оптический кабель при прокладке под водой.
2. Суммарный крутящий момент в кабеле.
3. Суммарное разрывное усилие в оптическом кабеле.
4. Относительное удлинение кабеля при изгибе.
5. Расчёт силы, сжимающей внутренние слои оптического кабеля.
6. Сжатие слоёв кабеля под действием растягивающей нагрузки.
7. Расчёт общей длины оптического волокна в пазу кабеля.

Примеры окон программы OPTICS для раздела № 7 приведены на рис. 11, 12.

OPT Растяжение ОК в канализации

☐ На подъем

☐ На спуск

Масса единицы длины ОК в воздухе, кг/м P_0

Длина затаскиваемого отрезка ОК в кабельный канал, м $l_{ок}$

Козф-т трения между материалами оболочки ОК и трубы кабельной канализации $k_т$

Угол наклона трассы, рад β

на подъем

$$F = P_0 l_{ок} (k_т \cos \beta + \sin \beta)$$

на спуск

$$F = P_0 l_{ок} (k_т \cos \beta - \sin \beta)$$

Результат: растягивающая нагрузка, кгс F

Рис. 11

Задание 1. Рассчитать зависимость растягивающей нагрузки в кгс от угла наклона трассы на подъеме и на спуске.

Задание 2. Провести расчёт растягивающей силы после ввода значений независимых переменных. Сравнить полученные значения с допустимыми для данного вида кабеля.

Задание 1. Рассчитать зависимость растягивающей нагрузки в кгс от величины стрелы подвеса.

Задание 2. Провести расчёт растягивающей ветровой нагрузки при фиксированных значениях массы единицы длины, расстоянии между точками подвеса, величины провиса. Сравнить результат со справочным допустимым значением для данного вида кабеля.

0pt Воздушная нагрузка ОК (без учета ветровой нагрузки)

Масса единицы длины ОК в воздухе, кг/м	P_0	
Расстояние между точками подвеса, м	l_{π}	
Стрела провиса, м	f	

$$F = \frac{l_{\pi}^2 P_0}{8f} + P_0 f$$

Результат: растягивающая нагрузка, кгс	F	
--	-----	----------------------

Рис. 12

Раздел 7. ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ ВОЛС

В раздел 7 «Оценка надёжности ВОЛС» включены следующие задачи:

1. Плотность отказов линии.
2. Интенсивность отказов (на 1 километр трассы в часах).
3. Среднее время наработки на отказ.
4. Среднее время восстановления связи.
5. Вероятность безотказной работы.
6. Коэффициент готовности.
7. Среднее время обнаружения и ремонта повреждения линии.
8. Общее время технического обслуживания.

На рис. 13 приведён пример окна программы OPTICS для задачи № 4.

Среднее время восстановления связи

Число отказов на магистрали связи N

i -ый отказ

Время восстановления связи при i -м отказе, ч t_{xi}

(ввести все промежутки между отказами с нажатием кнопки "Расчет")

Промежуточные значения расчета

Результат: среднее время между отказами t_x

$$t_x = \sum_{i=1}^N t_{xi} / N$$

Рис. 13

Задание: построить зависимость среднего времени восстановления связи от количества отказов на магистрали N .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волоконно-оптические системы передачи : учеб. для вузов / под ред. В. Н. Гомзина. – М. : Радио и связь, 1992. – 416 с. – ISBN 5-256-00999-0.
2. Справочник по волоконно-оптическим линиям связи / под ред. С. В. Свечникова, Л. М. Андрушко. – Киев : Техника, 1988. – 239 с.
3. Каталог. Изделия волоконно-оптической техники. – М., 1993. – 142 с.
4. Стерлинг, Д. Дж. Техническое руководство по волоконной оптике : пер. с англ. / Д. Дж. Стерлинг. – М. : Лори, 2001. – 288 с. – ISBN 5-85582-030-0.
5. Чзо, П. К. Волоконная оптика: Приборы и системы. / П. К. Чзо. – М. : Энергоатомиздат, 1988 – 280 с. – ISBN 5-283-02440-7.
6. Шмелев, С. К. Оптоэлектроника / С. К. Шмелев. – М. : Изд-во МЭИ 1997. – 168 с. – ISBN 5-1046-0186-3.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Раздел 1. ФИЗИКА СВЕТА	4
Раздел 2. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН.....	6
Раздел 3. ПОТЕРИ В ОПТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ	9
Раздел 4. ОБЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	11
Раздел 5. ПОТЕРИ В ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЯХ	13
Раздел 6. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ	15
Раздел 7. ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ ВОЛС.....	17
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	18

ОПТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА В РАДИОТЕХНИКЕ

Методические указания по выполнению заданий СРС

Составители:

САДОВСКИЙ Николай Владимирович

САДОВСКИЙ Илья Николаевич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор О. Р. Никитин

Подписано в печать 07.05.19.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,16. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.