

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал ордена
Трудового Красного Знамени
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»



Кафедра «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Методические указания
к выполнению курсовой работы

по дисциплине

«Многоканальные телекоммуникационные системы»

(для студентов по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии
и системы связи профиль Мобильная связь и интернет вещей)

Ростов-на Дону
2022

Методические указания
к выполнению курсовой работы

по дисциплине

«Многоканальные телекоммуникационные системы»

Составитель: доцент кафедры ИТСС Борисов Б.П.

Рассмотрено и одобрено
на заседании кафедры ИТСС
Протокол от «19» декабря 2022 г. № 5

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

АИМ - амплитудно-импульсная модуляция

АЦП - аналого-цифровой преобразователь

ЦАП - цифро-аналоговый преобразователь

ВРК - временное разделение каналов

ВТС - выделитель тактового синхросигнала

ИКМ - импульсно-кодовая модуляция

КУ - корректирующий усилитель линейного регенератора

НРП (ОРП) - необслуживаемый (обслуживаемый) регенерационный пункт

ОЦК - основной цифровой канал

РУ - решающее устройство линейного регенератора

СП (ЦСП) - (цифровая) система передачи

ЧПИ - код с чередованием полярности импульсов

$A_{\text{кв}}$ - защищенность гармонического сигнала от шумов квантования

$A_{\text{зп}}$ - защищенность от помех на выходе КУ или на входе РУ

$f_{\text{д}}$ ~ частота дискретизации

$f_{\text{т}}, T_{\text{т}}$ - тактовая частота и тактовый интервал

m - количество разрядов в кодовом слове (кодовой комбинации или канальном интервале) N - количество каналов тональной частоты

P_o - допустимая вероятность ошибки на один километр линейного тракта

L - протяженность линейного тракта

l_{max} - максимальная длина регенерационного участка

$F_{\text{ш}}$ - коэффициент шума корректирующего усилителя

$T_{\text{с}}$ - среднее время восстановления циклового синхронизма

$Z_{\text{в}}$ - волновое сопротивление цепи электрического кабеля $U_{\text{пер}}$

~ амплитуда импульса на выходе регенератора

X - интенсивность отказов оборудования цифровой линии передачи

ΔA_3 - запас помехозащищенности на выходе КУ или входе РР

α - коэффициент затухания цепи электрического кабеля на полутаковой частоте

$P_{\text{пер}}$ ~ абсолютный, уровень пиковой мощности импульса на выходе регенератора

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Целью курсовой работы является освоение общих вопросов эскизного проектирования ЦСП на основе ИКМ-ВРК и выполнению некоторых расчетов основных параметров нетиповых ЦСП, руководствуясь общими принципами построения систем передачи плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ).

Предлагаемая курсовая работа будет способствовать более углубленному изучению принципов построения ЦСП и приобретению навыков выполнения инженерных расчетов основных параметров ЦСП.

Каждый студент выполняет курсовую работу в соответствии с индивидуальным заданием, выбор которого осуществляется по двум последним цифрам номера студенческого билета.

В работе должны быть выполнены все расчеты, необходимые для решения поставленной задачи, сделаны выводы и дано обоснование всем принятым техническим решениям, приведены основные структурные схемы узлов проектируемой ЦСП.

Результаты расчетов и обоснований, принятых в проекте решения последовательно, без повторений и лишних подробностей в описательной части излагают в пояснительной записке. Ее объем не должен превышать 25 страниц рукописного текста, включая рисунки и таблицы. Расчет защищенности от шумов квантования выполняют в децибелах с точностью до 1 дБ.

Пояснительную записку выполняют на стандартных листах формата А4, текст пишут на одной стороне листа. Страницы текста, рисунки и таблицы нумеруются в порядке их появления. Рисунки выполняются на размера А4 черной пастой или тушью с соблюдением требований ЕСКД.

Все исправления и дополнения, сделанные по замечаниям рецензента, выносят на другую сторону листа в том месте, где обнаружены ошибки или

заданы вопросы. Список литературы, использованной при выполнении курсовой работы, приводят в конце пояснительной записки.

Полностью выполненная работа высылается в заочное отделение в срок до начала экзаменационной сессии.

Защита курсовой работы студентами происходит по расписанию в период экзаменационной сессии. Для успешной защиты необходимо:

1. Внести исправления по имеющимся замечаниям рецензента, ответить на поставленные вопросы.
2. Уметь объяснить ход выполнения расчетов, смысл символов, входящих в расчетные формулы, обосновать правильность принятых технических решений.
3. Уметь объяснить принципы функционирования основных узлов структурной схемы ЦСП с ИКМ-ВРК.
4. Уметь выполнять задания и давать исчерпывающие ответы на контрольные вопросы, приведенные в конце данных методических указаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

(Основная литература)

1. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2013.
2. Крухмалев В. В., Гордиенко В.Н., А. Д. Моченов. Цифровые системы передачи: Учебное пособие. М.: Горячая линия - Телеком, 2012.
3. Цифровые и аналоговые системы передачи. Учебник для вузов / под редакцией В.И. Иванова – 2-ое издание – М.: Горячая линия – Телеком, 2005 – 232с.
4. Методические указания и задание на курсовой проект "Цифровая многоканальная система передачи с импульсно-кодовой модуляцией по металлическому кабелю" по курсу «Многоканальные системы передачи» / Составитель СВ. Четкий, доцент МИС, Москва 2000.

(Дополнительная литература)

5. В.В. Величко, Г.П. Катунин, В.П. Шувалов; Основы инфокоммуникационных технологий. Учебное пособие для вузов под ред. профессора В.П. Шувалова. М.: Горячая линия – Телеком, 2009.
6. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей: Учебное пособие для вузов/ Е.Б. Алексеев, В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев, и др.; Под ред. В.Н. Гордиенко и М.С. Тверецкого. - М.: Горячая линия - Телеком, 2008.- 392с.: ил.
6. Корнилов И.И. Цифровые линии передачи: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию. – ПИИРС, Самара, 2000.

Задание на курсовую работу:

Разработать эскиз цифровой системы передачи на основе импульсно-кодовой модуляции с временным разделением каналов (далее просто ЦСП) и выполнить расчет некоторых основных параметров оборудования.

Вопросы, подлежащие разработке в курсовой работе:

1. Структурная схема не стандартной N-канальной ЦСП структуру агрегатного потока x и определение её характеристик.
- 2: Расчёт параметров нелинейного кодека.
3. Расчёт параметров системы синхронизации первичной ЦСП
4. Синтезировать линейный код.
5. Расчёт длины регенерационных участков, работающих по асимметричным, коаксиальным и оптическим кабелям.

Исходные данные к курсовой работе

Исходными данными для эскизной разработки ЦСП на основе ИКМ-ВРК являются:

- к заданию 1,2,3 параметры представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

Номер варианта ~ две последние цифры номера студенческого билета										Число каналов N, ед,	Защищенность от переходной помехи Авн, дБ	Кодовая группа P0...P7	Дивамич. Диапазон D, дБ	Десятичное число ДЧ
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	60	55	11110101	14	131845
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	90	55	01101010	20	99715
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	120	60	11011001	26	65797
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	150	60	01000110	32	69383
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	180	65	10111010	38	106883
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	180	65.	00101000	44	73991
60	61 .	62	63	64	65	66	67	68	69	150	70	10000110	50	69761
70	71 ,	72	73	74	75	76	77 .	78	79	120	70.	01011111	56	86147
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	75	10110001	62	66569
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	60	75	01011011	68	162530
→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	Направления: → -передачи; ← приема				
1	2	3	5	6	1	2	3	5	6	Число кодеров ед.				
3	4	5	6	7	7	6	5	4	3	Коэффициент накопления по выходу на синхронизма $\Gamma_{\text{вых}}$, ед.				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Коэффициент накопления по входу: в синхронизм $\Gamma_{\text{вх}}$, ед.				
-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-52	-26	-43	Абсолютный уровень мощности сигнала на вх. канала $T\text{Ч}_{\text{рс}}$, дБм				
32	35	40	43	45	50	52	55	57	60	Защищенность от искажений квантования, $A_{\text{кв}}$, дБ				
М	ВО	М	ВО	М	ВО	М	ВО	М	ВО	Кабель: М - металлический; ВО - волоконно-оптический				
001	010	011	100	101	110	111	001	010	011	Начальное состояние регистров А, В, и С генератора ПСП				
КВП -3	СМІ	КВП -3	ВІF	КВП -3	СМІ	КВП -3	ВІF	КВП -3	СМІ	Тип линейного кода				

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Выполнение курсовой работы предполагает последовательное решение ряда задач - заданий.

Задание 1

Разработать и начертить обобщенную структурную схему окончного оборудования цифровой системы передачи, соответствующую заданному количеству каналов и дать ее краткое описание.

После изучения материала, изложенного в рекомендованной литературе Л1(стр. 358 - 361), Л2(стр. 49-53); Л4(стр. 147-150); Л7(стр.117-129). Привести структуру временного цикла первичного цифрового потока и рассчитать его основные параметры; длительность цикла $T_{\text{ц}}$ длительность канального $T_{\text{ки}}$; длительность разрядного интервала $f_{\text{ри}}$; длительность разрядного импульса $\tau = T_{\text{ри}}/2$; частоту следования циклов $f_{\text{ц}}$ и частоту следования канальных интервалов $f_{\text{ки}}$, тактовую частоту первичного цифрового потока или скорость передачи первичного цифрового потока и частоту следования сверхциклов, предварительно выбрав число циклов $N_{\text{ц}}$ в сверхцикле.

В настоящее время рекомендованы два типа первичных цифровых потоков (ПЦИ): Е1 европейский стандарт ПЦИ на 32 канальных интервала (30 каналов тональной частоты или основных цифровых канала), скорость передачи которого $C_{\text{Е1}}=2,048$ Мбит/с и DS1 - североамериканский или японский стандарт на 24 канальных интервала, скорость передачи которого равна $C_{\text{DS1}} = 1,544$ Мбит/с.

Если заданием на проектирование число КТЧ кратно 24, то следует ориентироваться на ПЦП типа DS1; если же число КТЧ кратно 30, следует выбрать ПЦП типа E1.

Если число КТЧ кратно 24 и 30, то может быть сделан любой выбор при соответствующем его обосновании.

Для рассчитанного числа элементов в кодовой комбинации m разработать структуру цикла, руководствуясь структурой типовых циклов, рис. 5.1 и 5.2, Л2(стр.50 и 52). В пояснительной записке привести временную структуру цикла ПЦП, краткое ее описание и основные параметры.

Разработку структурной схемы выполняют исходя из заданного числа каналов N . Следует иметь в виду, что линейный тракт проектируемой ЦСП строится на основе коаксиального кабеля, имеющего четыре коаксиальные пары (при однокабельной схеме организации двусторонней связи), либо на основе симметричного одночетверочного кабеля при двухкабельной схеме организации двусторонней связи).

Тактовую частоту первичного (компонентного) цифрового потока на 30 каналов ТЧ по очевидной формуле:

$$f_{TI} = 32 * f_{\partial} * m = 256 * m, \text{ кГц},$$

Для первичного цифрового потока на 24 канала ТЧ тактовая частота определяется по формуле:

$$f_{TI} = 24 * f_{\partial} * m = 256 * m, \text{ кГц},$$

Задача второй ступени цифрового группообразования или временного мультиплексирования состоит в объединении нескольких компонентов цифровых потоков в агрегатный цифровой поток с соответственно большей скоростью передачи. Известны два метода объединения цифровых потоков (временного группообразования или временного мультиплексирования): синхронное и асинхронное. Материал по этому вопросу следует найти в Л1(стр. 408-448), в Л4(стр. 119-139), в Л6(стр. 322-338). В разрабатываемой ЦСП рекомендуется использовать асинхронное объединение. Структура цикла – агрегатного цифрового потока при этом значительно усложняется,

так как помимо информационных и служебных символов компонентных потоков должны быть введены служебные символы агрегатного цифрового потока: команды согласования скоростей, цикловых синхронизации служебной связи, сигналов контроля и сигнализации, сигналы ввода дискретной информации. С учетом этого тактовая частота агрегатного цифрового потока определяется по формуле:

$$f_T = f_{TI} * M * (I + r) \quad ,$$

где

f_{TI} – тактовая частота компонентного цифрового потока;

M – количество объединяемых компонентных потоков;

r – отношение количества дополнительных символов в цикле агрегатного цифрового потока к общему числу символов в цикле, равное 0,012...0,032 (для числа каналов в агрегатном потоке до 120, величина $r \approx 0,032$, а для числа каналов до 480 $r \approx 0,013$). Рекомендуется выбрать значение тактовой частоты кратное частоте дискретизации.

В пояснительной записке следует привести ориентировочную структуру цикла проектируемой ЦСП, взяв за основу построений цикла ЦСП типа ИКМ-120 или ИКМ-480.

Оконечное оборудование строится на основе заданного числа каналов первичного цифрового потока. Объединение компонентных цифровых потоков в агрегатный осуществляется методами асинхронного сопряжения двумя ступенями временного группообразования или мультиплексирования. Для успешного выполнения этого задания следует проработать соответствующий материал по рекомендованной литературе Л1(стр. 358-361, рис. 8.1 и стр. 408-448); Л2.(стр.22-35, рис. 4.7); Л3(стр. 41-44. рис. 3,1 и стр. 119-141); Л6 (стр. 301-304, рис. 16.1. стр. 322-331); Л7(стр. 104-108).

Задание 2

Определение характеристик кодека ЦСП. Рассчитать количество разрядов в кодовой комбинации и определить защищенность от шумов квантования на выходе КТЧ ЦСП.

После изучения материала, изложенного в рекомендованной литературе: Л1(стр. 328 - 342, 365 - 381), Л2(стр. 10 - 14); Л3(стр. 166 – 178); Л4(стр. 21-30; 47-62); Л6. (стр. 284-292; 307-317); Л7(стр.85-104). Следует определить напряжения отсчета на выходе декодера, Определить значения разрядов кодовой группы и выполнить оценку величины защищенности от искажений квантования на выходе канала ТЧ ЦСП. Границы сегментов и значения шагов квантования приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Границы сегментов и значения шагов квантования

Сегмент	U_B , мВ	U_H , мВ	δ , мВ
7	1570	785	49,1
6	785	392,7	24,5
5	392,7	196,349	12,27
4	196,349	98,17	6,14
3	98,17	49,1	3,07
2	49,1	24,5	1,535
1	24,5	12,27	0,767
0	12,27		0,767

Задание 3

Рассчитать параметры системы синхронизации первичной ЦСП. Рассчитать основные параметры цикловой синхронизации первичного цифрового потока и определить тактовую частоту проектируемой цифровой системы передачи.

Для выполнения первой части этого задания по рекомендованной литературе: Л1(стр. 394-405); Л2(стр. 53-61); Л4(стр. 80-91); Л6(стр. 317-321); Л7(стр. 109-115) - следует изучить соответствующий материал.

Упрощенная методика определения некоторых параметров цикловой синхронизации при использовании неадаптивного приемника синхросигнала сводится к следующему (Л5). В неадаптивном приемнике с последовательно работающими цепями поиска и удержания синхронизма среднее время его восстановления определяется выражением

$$T_{\text{в}} = t_{\text{н вых}} + t_{\text{п}} + t_{\text{н вх}} \quad (3.1)$$

где $t_{\text{н вых}}$ и $t_{\text{н вх}}$ - соответственно время накопления по выходу и входу в синхронизм; $t_{\text{п}}$ - среднее время поиска синхросигнала. Оценить среднее время

поиска можно следующим образом:

$$t_{\text{п}} = \left(\frac{k-m_c+1}{2^{m_c-1}} + \frac{k+m_c-1}{k+m_c} \right) * T_0, \quad (3.2)$$

где

k - количество информационных позиций, заключенных между двумя соседними синхрогруппами (синхрословами);

m_c - количество символов в синхрогруппе (синхрослове);

T_0 - временной интервал между двумя соседними синхрогруппами.

Пример:

В ЦСП ИКМ-30 принято $m = 8$, а количество канальных интервалов равно 32. В нулевом канальном интервале каждого четного цикла передается синхросигнал, состоящий из семи разрядов ($m_c = m-1=8-1=7$). Так как синхрогруппа передается через цикл $T_0=2T_{\text{ч}} = 0,25$ мс. В каждом четном цикле размещается $31 \times 8=248$ информационных позиций, а в каждом нечетном $-32 \times 8=256$. Общее количество информационных позиций между двумя соседними синхрогруппами $k=248+256=504$. Отсюда:

$$t_n = \left(\frac{k - m_c + 1}{2^{m_c} - 1} + \frac{k + m_c - 1}{k + m_c} \right) * T_0 = \left(\frac{504 - 7 + 1}{2^7 - 1} - \frac{504 + 7 - 1}{504 + 7} \right) * 0.25 = 1.23 \text{ мс}$$

Из принципа действия приемника синхросигнала следует, что $t_{н.вых.} = T_0 * r_{вых.}$, а $t_{н.вх.} = T_0 * r_{вх.}$, где $r_{вх.}$ – соответственно коэффициенту накопления по выходу из синхронизма и входит в синхронизм. Следует обосновать выбор коэффициентов накопления, учитывая, что $r_{вых.}$ не рекомендуется выбирать меньше четырех, а $r_{вх.}$ не меньше двух. Следует проверить, чтобы значение $T_{в.}$ вычисленное по формуле (3.1) не оказалось больше заданного. В противном случае следует принять меры для его снижения. Можно, например, использовать приемник синхросигнала с параллельно работающими цепями поиска и удержания синхронизма, либо изменить структуру цикла с целью уменьшения времени поиска t_n (см. формулу (3.2)).

Более полно вопросы расчета среднего и максимального времени восстановления состояния синхронизма циклового состояния рассмотрены в Л2 (стр. 54-57).

Пример: Расчет среднего времени вхождения в синхронизм $T_{в.}$ Качество функционирования приемника цикловой синхронизации оценивается двумя числовыми критериями:

- среднее время восстановления синхронизма – $T_{в.}$
- длительность удержания состояния синхронизма при пропадании синхросигнала, т.е. помехоустойчивостью системы ЦС.

$$T_{в.} = t_{н.вых.} + t_{п.} + t_{н.вх.},$$

где $t_{н.вых.}$ и $t_{н.вх.}$ - время накопления по выходу и входу в синхронизм,

$t_{п.}$ – среднее время поиска синхросигнала;

$$t_{п.} = T_0 ,$$

где $k = 505$ – количество информационных позиций, размещенных между двумя соседними символами

m_c – количество символов в синхрогруппе, оно равно 7

T - временной интервал между двумя соседними синхрогруппами, т.е.

$$T = 246,582 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$

$$\text{Тогда } t_{\pi} = 246,582 \cdot 10^{-6} = 1,21495 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Из принципа действия приемника цикловой синхронизации следует:

$$t_{\pi.\text{ВЫХ}} = T_o \cdot r_{\text{ВЫХ}} = 246,582 \cdot 10^{-6} \cdot 6 = 1,48 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

$$t_{\pi.\text{ВХ}} = T_o \cdot r_{\text{ВХ}} = 246,582 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 0,986 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

$$T_{\text{В}} = 1,48 \cdot 10^{-3} + 1,215 \cdot 10^{-3} + 0,986 \cdot 10^{-3} = 3,681 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Задание 4

Необходимо построить кодовую последовательность. Для чего вначале необходимо выполнить перевод десятичного числа в двоичную форму и кодирование. Изобразить полученную двоичную последовательность символов в коде ЧПИ и, в зависимости от вида линейного тракта (металлический или оптоволоконный кабель), в коде СМІ, ВІF или. КВП-3 рассчитать и построить двоичную последовательность на выходе скремблера с количеством состояний 2^3-1 и заданным начальным состоянием регистров А, В, С генератора ПСП, используя в качестве исходной последовательности ту, которая была получена.

Для выполнения задания следует изучить соответствующий материал в рекомендованной литературе: Л1(стр. 448-467); Л2(стр. 62-66); Л4(стр. 98-105); Л6(стр. 347-350); Л7(стр. 133-140).

Структурная схема генератора ПСП имеет вид (рисунок 1):

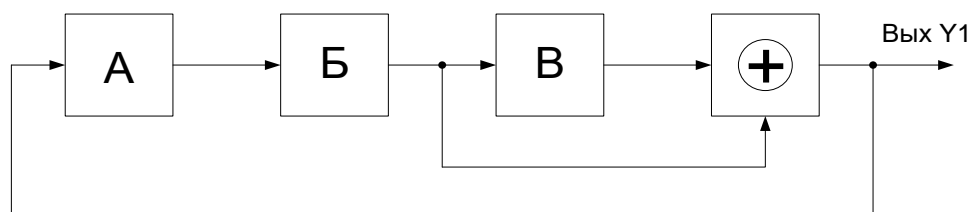


Рисунок 1 - Структурная схема генератора ПСП

Задание 5

Рассчитать максимальную длину регенерационных участков, работающих по ассиметричным, коаксиальным и оптическим кабелям длины регенерационных участков, работающих по ассиметричным, коаксиальным и оптическим кабелям участка и осуществить выбор типа кабеля.

Для выполнения этого задания изучить соответствующий материал по рекомендованной литературе: Л1(стр. 520-532); Л2(стр. 71-82); Л5(стр. 21-24); Л6(стр. 373-375); Л7(стр. 146-148).

Длина регенерационного участка определяется помехами в линейных цифровых трактах ЦСП и требованиями к вероятности ошибки на километр линейного тракта (см. исходные данные к курсовой работе).

Для симметричных кабелей связи основным источником помех в цифровом линейном тракте (ЦЛТ) являются взаимные влияния между парами, обусловленные конечной величиной переходного затухания между ними на ближнем и дальнем концах. Эти помехи зависят от способа организации двусторонней связи: однокабельная схема, при которой пары передачи прямого и обратного направлений находятся в одном кабеле и взаимные влияния между ними определяются переходным затуханием на ближнем конце A_0 ; двухкабельная схема организации связи, при которой пары передачи прямого и обратного направлений находятся в разных кабелях и взаимные влияния между ними определяются переходным затуханием на дальнем конце A_1 .

На величину переходных помех влияет число систем передачи, работающих по одному и тому же кабелю, длина регенерационного участка и коэффициент затухания кабеля.

Защищенность от помех переходных влияний в ЦЛТ, как правило, определяется в пределах одного регенерационного участка, т.к. на выходе линейного регенератора (РЛ) происходит полное восстановление формы линейного цифрового сигнала и полное исключение внешних помех. Однако,

необходимо учитывать некоторое снижение защищенности на величину ΔA_3 , обусловленное межсимвольными помехами, допусками на амплитуду и длительность импульсов, точности коррекции амплитудно-частотных характеристик регенерационного участка устройствами коррекции линейного усилителя регенератора (называемого усилителем-корректором), нестабильностью порога и конечной чувствительностью порогового устройства РЛ, отклонениями моментов стробирования-точности выделения тактовой частоты в устройстве хронирования РЛ. Обычно величина ΔA_3 принимается равной 3...6 дБ.

В курсовой работе следует принять двухкабельную схему организации двусторонней связи. Защищенность от переходных помех для такой схемы организации связи определяется переходным затуханием на дальнем конце и определяется по формуле:

$$A_{3l} = A_l - a * l_{py} - 10 \lg k - \Delta A_3, \quad (5.1)$$

где A_l - переходное затухание на дальнем конце, дБ;

a – коэффициент затухания пары кабеля, определяемый на расчетной частоте, равной половине тактовой частоты линейного цифрового сигнала, дБ/км;

l_{py} – длина регенерационного участка, км.

k – ЦСП, т.е. число систем работающих на параллельных цепях;

ΔA_3 – величина снижения защищенности одиночного регенератора из-за действия различного вида дестабилизирующих факторов. Основные параметры симметричных и коаксиальных кабелей приведены в таблице 5.1.

Значения, a в (5.1) определяется по следующей формуле:

$$a = a_1 * \sqrt{\frac{f_m}{2}}, \quad (5.2)$$

Здесь a_1 – коэффициент затухания пары кабеля, приведенный в табл. 5.2, дБ/км;

f_T – тактовая частота линейного цифрового сигнала, МГц.

Таблица 5.1 - Основные параметры симметричных и коаксиальных кабелей

Тип кабеля	a_1 , дБ/км	Z_B , Ом	A_0 , дБ	A_1 , дБ	$C_{н1}$, тыс.руб/км.
ЗКП 1х4х1.2	5,43	150	68	80	2х0,625
МКС 1х4х1.2	5,35	150	68	80	2х0,345
КМ-42,6/9,4	2,36	75			3,6
МКТ-41,2/4,6	5,33	75			1,6
Микро коаксиал 0,7/2,9	8,88	75			0,9

Из (5.1) получаем формулу для определения длины регенерационного участка.

$$l_{py} \leq \frac{A_l - A_{3l} - 10 \lg k - \Delta A_3}{a} \quad (5.3)$$

Защищенность на дальнем конце представляет так называемую ожидаемую защищенность, т.е. защищенность, определяемую реальными значениями переходного затухания, ожидаемых снижений защищенности одиночного регенератора, длиной регенерационного участка и коэффициента затухания пары симметричного кабеля.

Ожидаемая защищенность от помех в линейном цифровом тракте сравнивается с допустимой защищенностью, которая зависит от допустимой вероятности ошибок $p_{ош.доп.}$ или коэффициента ошибок и типа линейного кода цифрового сигнала. Зависимость вероятности (коэффициента) ошибок от допустимой защищенности для любого вида помех на входе решающего устройства линейного регенератора для двухуровневого (однополярного или бинарного) линейного кода представлена в таблице 5.2.

Функциональная зависимость вида $A_{3 доп.} = \varphi(p_{ош.доп.})$ для этого типа линейного кода может быть представлена приближенным соотношением.

$$A_{3 доп.} = 4,58 + 11,42 * \lg(-\lg p_{ош.доп.}) \quad (5.4)$$

Таблица 5.2 - Зависимость вероятности (коэффициента) ошибок

$A_{з \text{ доп. дБ}}$	18,8	19,7	20,5	21,1	21,7	22,2	22,6	23,0	23,4	23,7
$p_{\text{ош. доп.}}$	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}

Зависимость вероятности ошибок от допустимой защищенности для трехуровневых сигналов (квазитроичного кода) приведена в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Зависимость вероятности ошибок от допустимой защищенности для трехуровневых сигналов

$A_{з \text{ доп. дБ}}$	19,6	20,5	21,5	22,0	22,9	23,4	24,5	25,3
$p_{\text{ош. доп.}}$	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}

Аналитическое выражение для этого вида зависимости имеет вид:

$$A_{з \text{ доп.}} = 10,62 + 11,42 - \lg(-\lg p_{\text{ош}}). \quad (5.5).$$

В формулах (5.4) и (5.5) величина $p_{\text{ош}}$ представляет вероятность ошибки одиночного регенератора, которая равна:

$$p_{\text{ош}} = p_0 - l_{\text{ру}} \quad (5.6)$$

здесь p_0 – допустимая вероятность ошибки на один километр линейного тракта, 1/км;

$L_{\text{ру}}$ – длина регенерационного участка.

Зависимость между ожидаемой защищенностью и допустимой определяется соотношением вида:

$$A_{з \text{ ож}} \geq A_{з \text{ доп.}} \quad (5.7)$$

Следовательно, равенство:

$$A_{з \text{ ож}} = A_{з \text{ доп.}} \quad (5.8)$$

Можно использовать для определения максимальной длины регенерационного участка.

Порядок определения длины регенерационного участка ЦСП, работающей по симметричному кабелю, рассмотрим на следующем примере.

1. Условиями задачи задан одночетверочный кабель. Следовательно, число влияющих пар (ЦСП) равно $k=1$. Так как схема организации двухкабельная, то ожидаемая защищенность от переходных помех определяется формулой (5.1) при условии, что $k=1$, т.е.

$$A_{3 \text{ ож}} = A_1 - a * l_{\text{py}} - \Delta A_3 \quad (5.9)$$

Из таблицы 5.2 следует $A_1=80$ дБ, выберем величину $\Delta A_3 = 4$ дБ. Величину a определим воспользовавшись формулой (5.2), но для этого надо знать значение тактовой частоты линейного сигнала ЦСП типа ИКМ-480. Для обычного бинарного кода тактовая частота ИКМ-480 равно $f_T = 34,368$ МГц, но так как в качестве линейного цифрового сигнала используется код типа nVmB ($m>n$), то тактовая частота линейного цифрового сигнала будет равна:

$$f_T = f^*(m/n) = 34.368 * (6/5) = 41.24 \text{ МГц.}$$

Величина коэффициента затухания определится, если в нее подставить значения a_1 , взятое из таблицы 5.2. т.е.

$$a = a_1 * \sqrt{\frac{f_m}{2}} = 5.35 * \sqrt{\frac{41.24}{2}} = 24, \text{ дБ/км}$$

Подставив значения A_1 , ΔA_3 , и a в формулу (5.9), получим

$$A_{3 \text{ ож.}} = 80 - 24,3 * l_{\text{py}} - 4 = 76 - 24,3 l_{\text{py}}$$

2. Допустимая защищенность для данного типа линейного кода согласно (5.4) будет равна

$$A_{3 \text{ доп.}} = 4,58 + 11,42 \lg[-\lg(10^{-10} - l_{\text{py}})]$$

3. Длина регенерационного участка определяется из равенства (5.8) после подстановки в него значений $A_{3 \text{ ож.}}$ и $A_{3 \text{ доп.}}$

$$76 - 24,3 * l_{\text{py}} = 4,58 + 11,42 * \lg[-\lg(10^{-10} * l_{\text{py}})],$$

которое преобразуем к виду:

$$6,254 - 2,128 * l_{\text{py}} = \lg[-\lg(10^{-10} * l_{\text{py}})] \quad (5.10)$$

4. Обозначим левую часть равенства (5.10) через $X(l_{py})$ т.е.

$$X(l_{py}) = 6,254 - 2,128 * l_{py} \quad (5.11)$$

а правую через $Y(l_{py})$:

$$Y(l_{py}) = \lg[-\lg(10^{-10} * l_{py})] \quad (5.12)$$

Уравнение (5.9) решается графически. Точка пересечения функций $X(l_{py})$ и $Y(l_{py})$ и будет его решением, возможно и аналитическое более точное решение трансцендентного уравнения вида (5.10).

5. Построим график зависимостей $X(l_{py})$. Это уравнение прямой, рис.2.

6. Построим график зависимостей $Y(l_{py})$. Это логарифмическое уравнение, рисунок 2.

7. Находим точку пересечения функций $X(l_{py})$ и $Y(l_{py})$. Большее значение и будет расчетной максимальной длиной регенерационного участка, т.е. $l_{py \text{ макс}} = 2,48$ км.

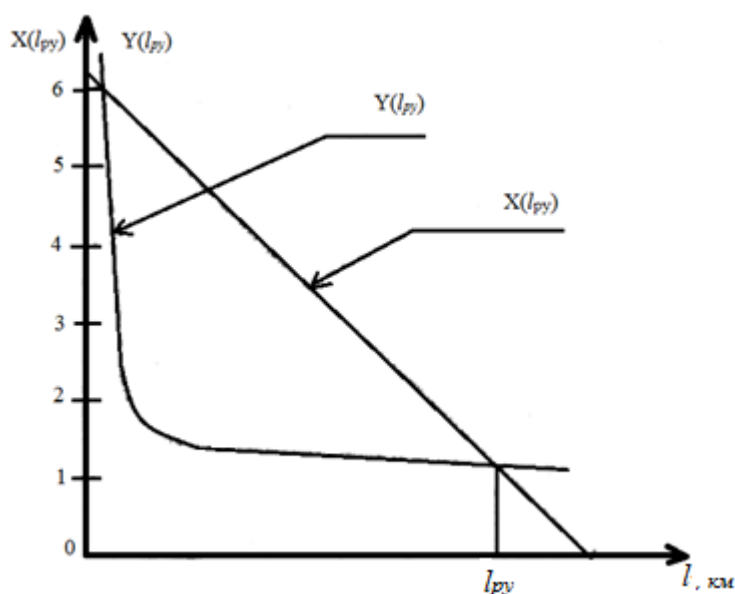


Рисунок 2 - К определению длины регенерационного участка ЦСП
работающей по симметричному кабелю l_{py} .

Расчет длины регенерационного участка ЦСП по коаксиальным кабелям

Основным видом помех, определяющих качество передачи линейного цифрового сигнала по коаксиальным кабелям, являются собственные помехи, включающие в себя тепловые шумы линии, тепловые шумы аппаратуры и собственные шумы усилителя-корректора линейного регенератора.

Ожидаемая защищенность от собственных помех определяется по приближенной формуле:

$$A_{\text{сш.ож.}} = 10 \lg \frac{U_{\text{пер}}}{Z_{\text{в}}} * 10^3 - a * l_{\text{py}} + 114 - 10 \lg f_{\text{T}} - 10 \lg F, \quad (5.13)$$

где $U_{\text{пер}}$ – амплитуда напряжения импульса на выходе регенератора;

$Z_{\text{в}}$ – волновое сопротивление цепи коаксиального кабеля;

a – коэффициент затухания цепи коаксиального кабеля на полутактовой частоте;

l_{py} – длина регенерационного участка;

f_{T} – тактовая частота линейного цифрового сигнала в МГц;

$F_{\text{ш}}$ – коэффициент шума корректирующего усилителя линейного регенератора.

Для определения максимальной длины регенерационного участка воспользуемся равенством (5.8) в форме, связывающей ожидаемую защищенность от собственных шумов $A_{\text{сш.ож}}$ и допустимую защищенность от собственных шумов $A_{\text{сш.доп.}}$

$$A_{\text{сш.ож}} = A_{\text{сш.доп.}} \quad (5.14)$$

Расчетное уравнение для определения максимальной длины регенерационного участка при использовании двухуровневых сигналов с учетом (5.4), (5.6) и (5.13) будет иметь вид:

$$B - \frac{a * l_{\text{py}}}{11.42} = \lg[-\lg(p_0 * l_{\text{py}})] \quad (5.15)$$

где

$$B - \frac{1}{11.42} = \left[110 + 10 \lg \frac{U_{\text{пер}}^2 * 10^3}{Z_{\text{в}} * f_{\text{T}} * F_{\text{ш}}} \right] \quad (5.16)$$

Для трехуровневых сигналов или квазитроичных кодов сигналов цифрового линейного тракта (5.14) с учетом (5.5), (5.6) и (5.13) расчетное

уравнение для определения максимальной длины регенерационного участка может быть представлено в форме:

$$B - \frac{a \cdot l_{py}}{11.42} = \lg[-\lg(p_0 * l_{py})] \quad (5.17)$$

где

$$B - \frac{1}{11.42} = \left[104 + 10 \lg \frac{U_{пер}^2 * 10^3}{Z_B * f_T * F_{ш}} \right] \quad (5.18)$$

Напомним, что в (5.15) и (5.17) p_0 – допустимая вероятность ошибки на один километр линейного тракта.

Как видим, уравнения (5.15) и (5.17) представляют трансцендентные уравнения вида (5.10), решения которых графическим способом рассмотрены ранее, см. пояснения к рис.2. Используя обозначения вида (5.11) и (5.12) применительно к (5.15) и (5.17), получим:

$$X(l_{py}) = B - \frac{a \cdot l_{py}}{11.42} \quad (5.19)$$

$$Y(l_{py}) = \lg[-\lg(p_0 * l_{py})] \quad (5.20)$$

Методику определения максимальной длины регенерационного участка ЦСП по коаксиальным кабелям рассмотрим на следующем примере.

Пример:

Определить максимальную длину регенерационного участка ЦСП типа ИКМ-480, работающей по коаксиальному кабелю типа МКТ-4, вид кода линейного цифрового сигнала 4ВЗТ, амплитуда импульса на выходе в линию с волновым сопротивлением $Z_B=75$ Ом равна $U_{пер}=5$ В; длина линейного тракта $L=600$ км; допустимая вероятность ошибки (коэффициент ошибки) $p_0=10^{-10}$ 1/км; коэффициент шума $F_{ш}=8$.

Порядок выполнения:

1. Определим тактовую частоту линейного цифрового сигнала. Тактовая частота цифрового потока ЦСП типа ИКМ-480 на входе преобразователя кода равна $f_T=34.368$ МГц. Код линейного цифрового

сигнала представляет алфавитный код типа nBnT, для которого расчетная тактовая частота f_T определяется формулой:

$$f_T = f_T * \frac{n}{m} \quad (5.21)$$

и, следовательно,

$$f_T = f_T * \frac{n}{m} = 34.368 * \frac{3}{4} = 25.776 \text{ МГц}$$

2. Подставив в формулу (5.16) значения $U_{\text{пер}}=5 \text{ В}$, $F_{\text{ш}}=8$, определим величину B для квазитрочного кода (трехуровневого)

$$B = 0,0876 \left(104 + 10 \lg \frac{U_{\text{пер}}^2 * 10^3}{Z_{\text{в}} * f_m * F_{\text{ш}}} \right) = 0,0876 \left(104 + 10 \lg \frac{5^2 * 10^3}{75 * 25.776 * 6} \right) = 9.29$$

3. Определим значение коэффициента затухания a для коаксиального кабеля типа МКТ-4 по формуле (5.2), подставим в нее значение $a_1=5.33$ дБ/км, взятого из таблицы 5.1, и значение тактовой частоты $f_T=25.776 \text{ МГц}$.

$$a = a_1 * \sqrt{\frac{f_T}{2}} = 5.33 \sqrt{\frac{25.776}{2}} = 19.13 \text{ дБ/км}$$

4. Подставив значение B в (5.19), получим функцию $X(I_{\text{py}})$ в форме:

$$X(l_{\text{py}}) = B - \frac{a}{11.42} * l_{\text{py}} = 9.29 - 1.68 l_{\text{py}} \quad (5.22)$$

и функцию $Y(I_{\text{py}})$, подставив в (5.20) значения $p_0=10^{-10}$, получим в виде:

$$Y(l_{\text{py}}) = \lg [-\lg(p_0 * l_{\text{py}}) = \lg [-\lg(10^{-10} * l_{\text{py}})]] \quad (5.23)$$

5. Искомая длина регенерационного участка находится графически, путем построения графиков функций $X(l_{\text{py}})$ и $Y(l_{\text{py}})$ и нахождения точки их пересечения, см. рис. 2 и пояснения к его построению при определении длины регенерационного участка ЦСП, работающей по симметричному кабелю. Полученная максимальная длина регенерационного участка будет равна $l_{\text{py макс}}=5,04 \text{ км}$.

Таблица 5.4 – К расчету длины регенерационного участка ЦСП по электрическим кабелям

Тип симметричного кабеля	ЗКП	МКС	ЗКП	МКС	ЗКП	МКС	ЗКП	МКС	ЗКП	МКС
Тип коаксиального кабеля	КМ-4	,3	0,32	0,4	КМ-4	0,25	0,32	КМ-4	0,33	КМ-4
Коэффициент шума корр. усилителя F, ед σ ,нс/нм.км	4	5	6	3	7	8	3	5	4	6
Амплитуда импульса передатчика $U_{\text{пер}}$, В	2,5	3	4	4,5	5	4	4,5	3,5	3	2,5
Допустимая вероятность ошибки на 1 км линейного тракта P_0 , 1/км	Номер варианта									
$2 \cdot 10^{-10}$	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
10^{-11}	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$5 \cdot 10^{-10}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$3 \cdot 10^{-10}$	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
10^{-10}	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
$0,5 \cdot 10^{-10}$	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
10^{-11}	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
$5 \cdot 10^{-10}$	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
$2 \cdot 10^{-10}$	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
10^{-11}	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99

Таблица 5.5 – К расчету длины регенерационного участка ЦСП по волоконно-оптическим кабелям

Энергетический потенциал, дБ.	38	40	42	44	39	41	43	37	39	45
Коэффициент затухания ОВ, дБ/км	0,22	,3	0,32	0,4	0,3	0,25	0,32	0,22	0,33	0,4
Нормированная ср.кв. дисперсия σ , пс/нм.км	3,5	4	4,2	4,3	3,2	3,0	4,3	3,2	3,3	4,2
Ширина полосы оптич. излучения $\Delta\lambda$, нм.	1,2	1,62	2	2,2	2,6	3	2,5	2,3	1,7	1,4
Скорость передачи линейного цифрового сигнала Мбит/с.	Номер варианта									
68,736	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
155,8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
167,116	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
622,22	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
668,5	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
68,736	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
115,8	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
622,22	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
167,116	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
668,5	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99

Для всех вариантов:

1. Строительная длина ОК $I_{сд}=2$ км.
2. Затухание в разъемном соединении $A_{рс}=0,5$ дБ.
3. Количество разъемных соединений $n_{рс}=2$
4. Затухание неразъемного соединения $A_{нс}=0,2$ дБ
5. Эксплуатационный запас $\Delta_3=6$ дБ.

***Расчет длины регенерационного участка цифровой системы передачи по
волоконно-оптическим кабелям.***

Если заданием на проектирование предусматривается применение волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) плезиохронной или синхронной цифровых иерархий, то следует выбирать оптические кабели (ОК) типа ОКЛ, предназначенных для работы на длине волны $\lambda = 1,55$ мкм.

Для расчета длины регенерационного участка (РУ) проектируемой волоконно-оптической линии передачи (ВОЛП) рекомендуется ориентироваться на следующие параметры кабеля ОКЛ:

- коэффициент затухания оптического волокна (ОВ) кабеля $\alpha = 0,3$ дБ/км;
- нормированное среднеквадратическое значение дисперсии ОВ $\sigma_B = 3,5$ пс/нм * км;
- строительная длина $l_{стр.}$

Длина РУ цифровой волоконно-оптической системы передачи (ЦВОСП) зависит от многих факторов, важнейшим из которых является энергетический потенциал \mathcal{E} , равный

$$\mathcal{E} = p_{пер} - p_{пр} = A_{макс}, \quad (1Д)$$

Здесь $p_{пер}$ – абсолютный уровень мощности оптического сигнала на входе линейного ОК, дБм.

$p_{пр}$ – абсолютный уровень мощности оптического излучения на входе приемника;

$A_{макс}$ – максимально-допустимое затухание оптического сигнала в ОК, разъемных и неразъемных соединениях регенерационного участка.

Максимальное затухание РУ определяется по следующей формуле:

$$A_{макс} = \mathcal{E} = \alpha l_{ру} + n_{НС} A_{НС} + n_{РС} A_{РС} + A_I + A_B \quad (2Д)$$

где α – коэффициент затухания оптического кабеля, кБ/км;

l_{py} – длина регенерационного участка;

n_{HC} – число неразъемных соединений;

A_{HC} – затухание неразъемного оптического соединения, дБ;

n_{pc} – число разъемных соединений;

A_{pc} – затухание разъемного оптического соединения, дБ;

$A_I = 0,5 \dots 1,5$ дБ – температурные измерения параметров ЦВОСП и оптического кабеля;

$A_B = 2 \dots 6$ дБ – допуски на ухудшение параметров ЦВОСП со временем (старение, деградация, потеря прозрачности оптического волокна и др.).

Сумма вида $A_I + A_B = \Xi_z$ называется *эксплуатационным запасом* и берется равной 6дБ. Следовательно, (2Д) можно представить в виде:

$$A_{\max} = \Xi = \alpha * l_{py} + n_{nc} * A_{HC} + n_{pc} * A_{pc} + \Xi_z \quad (3Д)$$

В формуле (2Д) количество неразъемных соединений на длине регенерационного участка равно:

$$n_{HC} = \left(\frac{l_{py}}{l_{стр}} \right) - 1 \quad (4Д)$$

Подставив n_{HC} в формулу (3Д) и выполнив несложные преобразования, получим формулу для определения максимальной длины регенерационного участка.

$$l_{py \max} = \frac{\Xi - \Xi_z - n_{pc} * A_{pc} + A_{HC}}{\alpha + A_{HC} / l_{стр}} \quad (5Д)$$

На длину регенерационного участка влияет величина дисперсии оптического волокна. Предельная длина регенерационного участка с учетом дисперсии ОВ равна:

$$l_{\text{руд}} = 0,25/\sigma B \quad (6Д)$$

где σ – дисперсия оптического волокна, с/км.

B – скорость передачи цифрового потока, соответствующая коду линейного цифрового сигнала.

Для многомодового волокна величину σ можно определить по формуле:

$$\sigma = 0,25/\Delta F \quad (7Д)$$

Здесь ΔF – коэффициент широкополосности ОВ, Гц*км (берется из паспортных данных ОВ).

Для одномодовых ОВ в паспортных данных указывается нормированная среднеквадратическая дисперсия σ_B нс/нм*км, которая связана с σ отношением.

$$\sigma = 10^{-12} * \Delta\lambda, \text{с/км} \quad (8Д)$$

Где $\Delta\lambda$ – ширина полосы оптического излучения, нм, определяется из справочных данных соответствующего источника оптического излучения.

Для светоизлучающих диодов $\Delta\lambda = 25 \dots 40$ нм и для лазерных полупроводниковых диодов $\Delta\lambda = 0,2 \dots 5$ нм.

Если длина регенерационного участка, определенная по формуле (6Д), оказывается меньше длины регенерационного участка, определенного по формуле (5Д), то выбирают длину регенерационного участка, определенного по формуле (6Д). В противном случае следует выбрать оптический кабель с другой величиной дисперсии.

Рассмотрим пример:

Определение длины регенерационного участка для ЦВОСП типа «Сопка-4М», если известно, что ее энергетический потенциал $\mathcal{E}=38$ дБ, работает по кабелю типа ОКЛ с коэффициентом затухания $\alpha=0.35$ дБ/км и строительная длиной $l_{\text{стр}}=2$ км. Примем эксплуатационный запас $\mathcal{E}_3=6$ дБ. Число разъемных соединений на регенерационном участке $n_{pc}=2$. Затухание одного разъемного соединения $A_{pc}=0,5$ дБ; затухание одного неразъемного соединения $A_{nc}=0,1$ дБ. Скорость передачи линейного цифрового сигнала $V=167,1168$ Мбит/с или $V=167,1168 \cdot 10^6$ бит/с.

Подставив в формулу (5Д) исходные данные получим:

$$l_{\text{ру макс}} = \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}_3 - n_{pc} * A_{pc} + A_{nc}}{\alpha + A_{nc}/l_{\text{стр}}} = \frac{38 - 6 - 2 * 0,5 + 0,1}{0,3 + 0,1/2} = 89 \text{ км}$$

Определим длину регенерационного участка с учетом дисперсионных свойств ОВ. По формуле (8Д) найдем среднеквадратического значения дисперсии, положив в ней.

$$\Delta\lambda = 2,6 \text{ нм и } \sigma_B = 3,5 \frac{\text{пс}}{\text{нм}} * \text{км}$$

$$\sigma = 10^{-12} * \Delta\lambda * \sigma_u = 10^{-12} * 2.6 * 3.5 = 9.1 * 10^{-12} \text{ с/км}$$

По формуле (6Д), найдем длину регенерационного участка:

$$l_{\text{руд}} = 0,25/\sigma * V = 0,25/9,1 * 10^{-12} * 167,1168 * 10^6 = 164 \text{ км}$$

Выбирается длина регенерационного участка, определяемая затуханием оптического кабеля.

ПРИМЕРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Введение (Изложить свое понимание состояния и перспектив развития техники многоканальных телекоммуникационных систем на основе цифровых систем передачи).

1. Построение оконечной станции ЦСП
 - 1.1. Структурная схема оконечной станции ЦСП.
 - 1.2. Расчет значений f_n и f_v частот полосы пропускания группового АИМ-тракта.
 - 1.3. Структура компонентного цифрового потока первичной временной группы.
 - 1.4. Структура цикла агрегатного цифрового потока.
2. Определение характеристик кодека ЦСП .
 - 2.1. Определение напряжения отсчета на выходе декодера.
 - 2.2. Определение значения разрядов кодовой группы.
 - 2.3. Оценка величины защищенности от искажений квантования на выходе канала ТЧ ЦСП.
 - 2.4. Определение количества разрядов в полях кодовой группы ИКМ-64.
3. Построение кодовой последовательности.
 - 3.1. Перевод десятичного числа в двоичную форму и кодирование.
 - 3.2. Расчет и построение двоичной последовательности на выходе скремблера.
4. Расчет длины регенерационного участка ЦСП .

4.1. Расчет длины регенерационного участка ЦСП по симметричным кабелям.

4.2. Расчет длины регенерационного участка ЦСП по коаксиальному кабелю.

4.3. Расчет длины регенерационного участка ЦСП по ВОЛС.

Заключение (Краткое описание выполненной работы, значимость МСП)

Список использованных источников.