

ЗАДАНИЕ
для выполнения контрольной работы
по дисциплине «Гибкие оптические сети»

1. Изучить содержание 9 глав конспекта лекций и составить письменно краткие ответы на приведённые в конце каждой главы контрольные вопросы. В ответы на вопросы *запрещается копировать таблицы, рисунки и текст конспекта!*
2. Выполнить расчётные контрольные задачи курсовой работы по варианту, соответствующему номеру студенческого билета или номеру пароля в системе заочного обучения с дистанционными технологиями. Обратит внимание на выделенные *курсивом надписи*, которые указывают на обязательность выполнения!

Изучите конспект лекций, дополнительную литературу по теме и составьте письменно краткие ответы на вопросы. Решите задачу с данными по своему варианту, который соответствует номеру студ. билета или паролю!

Контрольные вопросы к разделу 1

1. Какая полоса пропускания у современного одномодового оптического волокна?
2. Какие частотные и волновые интервалы между спектральными каналами DWDM предусмотрены стандартами?
3. Что необходимо для передачи информационных импульсных сигналов в волоконных линиях?
4. Чем принципиально отличаются форматы модуляции оптического излучения RZ и NRZ?
5. Как принято оценивать ширину спектральной линии источника оптического излучения?
6. Какие диапазоны волн одномодовых волокон предусмотрены для протяженных оптических линий DWDM?
7. Какие скорости передачи цифровых потоков доступны в линиях с DWDM в формате NRZ?
8. Какие ограничения создаёт дисперсия в оптическом волокне?
9. Чем отличаются волокна SMF и NZDSF в части дисперсии?
10. Какое назначение имеет волокно DSF?
11. Почему в стекловолокнах ограничивают мощность оптического сигнала?
12. Какие штрафы предусмотрены при оценке передачи оптических сигналов в волоконных линиях?
13. Как сказывается увеличение числа спектральных каналов на величине уровня мощности каждого из каналов?
14. Какие параметры оптических волокон снижают роль нелинейных эффектов при передаче оптических сигналов?
15. Какие приборы используют для построения оптических передатчиков и приёмников?

16. Что представляет собой лазер CW?
17. Как перестроить длину волны излучения и мощность лазера CW?
18. Чем формируется узкий одномодовый спектр излучения лазера CW?
19. В каких пределах может изменяться волна излучения лазера CW при перестройке?
20. Какое назначение в оптических передатчиках имеет MZM?
21. Какие преимущества имеют когерентные оптические приёмники?
22. Что относится к функциям цифровой обработки сигналов в когерентном приёмнике?
23. Какие особенности имеют фотодетекторы для высокоскоростных когерентных приёмников?
24. Какие разновидности оптических усилителей используются в современных ВОСП-WDM?
25. Чем принципиально отличаются оптические усилители EDFA, Raman, SOA?
26. Почему в оптических каналах накапливаются шумы?
27. Чем оценивается накопление шума в оптических каналах?
28. Что показывает критерий Шеннона?
29. Что обозначает нелинейный предел Шеннона для оптических каналов?
30. Что такое спектральная эффективность оптического канала?
31. Какой должна быть спектральная эффективность оптического канала для организации передачи на скорости 1 Тбит/с в полосе канала 50 ГГц с использованием DP?
32. Чем может быть достигнута высокая спектральная эффективность?

Задача 1

На основе данных табл.1.6 конспекта лекций *определить длину линии* оптического кабеля между оптическими усилителями (секции усиления) относительно нелинейных помех четырёхволнового смешивания (FWM) при организации числа оптических каналов по варианту табл.1.1, для частотных интервалов и величин дисперсии стекловолокна по варианту табл.1.2. Использовать данные максимального уровня мощности передачи оптического канала из табл.1.6 по варианту, считать во всех вариантах уровень мощности на входе оптического усилителя равным (-28 дБм), усреднённое затухание оптического волокна стандарта G.655 для всех вариантов 0,2 дБ/км на волнах диапазона С . Рассчитать *совокупную мощность* всех оптических канальных сигналов на выходе усилителя принимая во внимание, что усилитель полностью компенсирует затухание прилегающего участка оптической линии.

Табл.1.1. Число каналов DWDM

Вариант	Предпоследняя цифра номера студенческого билета или номера пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число каналов DWDM	8	16	32	8	16	32	8	16	32	8

Табл.1.2. Частотный интервал между оптическими несущими и коэффициент хроматической дисперсии

Вариант	Последняя цифра номера студенческого билета или номера пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Частотный интервал каналов DWDM, ГГц	100	50	25	10	100	50	25	10	100	50
Коэфф. хроматич. дисперсии, пс/нм×км	2	5	10	2	5	10	2	5	10	2

Методические указания для решения задачи 1

- Для оценочного определения длины линии оптической секции усиления достаточно по известным данным уровней мощности передачи и приёма канального сигнала найти энергетический потенциал, т.е. разность уровня канального сигнала на передающей стороне и уровня сигнала на входе оптического усилителя. Полученное значение энергетического потенциала (в дБ) разделить на усреднённое значение затухания волокна оптического кабеля (дБ/км).
- Для расчёта совокупной оптической мощности всех каналов (по варианту) достаточно воспользоваться простым соотношением

$$P_{\text{лок}} = P_{\text{max}} - 10 \lg n ,$$

где n – число оптических каналов по варианту, P_{max} – максимальный уровень мощности всех оптических сигналов, $P_{\text{лок}}$ – уровень мощности на передаче для одного канала.

Мощность определяется по стандартной формуле связи уровня мощности и мощности:

$$P_{\text{max}} = 10^{0,1P_{\text{max}}} \times 1 \text{ мВт} .$$

По полученному результату оценки длины секции оптического усиления сделать вывод о влиянии числа каналов, величины дисперсии и частотного интервала между оптическими несущими на длину секции усиления при минимальных помехах нелинейного происхождения от четырёхволнового смешивания.

Контрольные вопросы к разделу 2

1. С какой целью в оптических системах передачи применяются компенсаторы дисперсии?
2. Какие виды дисперсии необходимо устранять в оптических каналах?
3. Какие форматы модуляции оптических несущих частот оптических каналов для скорости передачи 100Гбит/с наиболее устойчивы к дисперсии?
4. Какие варианты схем компенсации дисперсии предпочтительны в оптических каналах и по каким причинам?
5. Какие преимущества имеет электронная компенсация дисперсии в оптическом канале?
6. Какие преимущества даёт использование когерентного оптического приёма в оптических каналах?
7. Какие алгоритмы цифровой обработки сигналов используются в оптических когерентных приёмниках?
8. Что обеспечивает FEC?
9. Какие ограничения в оптическом канале снимаются с помощью FEC?
10. Какие оптические форматы модуляции повышают спектральную эффективность до предельных значений?
11. Какими решениями по модуляции оптической несущей частоты можно добиться скорости передачи информационного потока в 1Тбит/с?
12. Чем ограничено наращивание числа уровней в форматах модуляции?
13. Что представляет собой оптический суперканал?
14. Какими способами можно формировать оптические суперканалы?
15. Что такое OFDM?
16. Чем конструктивно отличаются оптические волокна SMF от волокон MCF?
17. На что нацелены работы по созданию MCF?
18. Какие известны предложения по структурам многосердцевинных волокон?
19. Что представляют собой конструкции волокон FWF и MCF-FWF?
20. Почему востребованы волокна MCF?
21. Какие известны конструкции волокон MCF?
22. Какие характеристики имеют волокна MCF (геометрические, оптические, передаточные)?
23. Как оценивают взаимные влияния сердцевин в MCF?
24. Сколько сердцевин может быть в MCF?
25. Какие характеристики используют для описания сердцевин MCF?
26. Как соединяют волокна MCF?
27. Как устроены оптические усилители с волокнами MCF?
28. Какие компоненты необходимы для выделения, ввода, коммутации сердцевин между MCF?
29. На какое число мультиплексируемых мод могут быть рассчитаны волокна FMF?
30. Что должно соблюдаться при мультиплексировании мод в FMF?

31. Возможно ли разделение оптических спектральных каналов на приёмной стороне для совпадающих длин волн на различных модах в FMF?
32. Какие геометрические размеры может иметь сердцевина и оболочка одиночного FMF?
33. Какие геометрические размеры могут быть у волокон MCF-FMF?
34. Какой может быть дисперсия волокон FMF?
35. Какими могут быть потери оптической мощности в FMF?
36. Что должно учитываться дополнительно в системах передачи с волокнами MCF-FMF?
37. Какими устройствами формируют, вводят и выводят моды в FMF?
38. Какие потери оптической мощности вносят оптические мультиплексоры и демultipлексоры мод?
39. В чём особенности построения оптических усилителей FMF-EDFA?
40. Какие неравномерности наблюдаются в усилении оптических усилителей FMF-EDFA?
41. На сколько отличаются шумы оптических усилителей FMF-EDFA на различных модах?
42. Какие компоненты входят в состав систем передачи WDM-SDM-FMF?
43. Что может быть достигнуто применением оптических систем передачи WDM-SDM-FMF?

Задача 2

Определить *число спектральных каналов*, которые можно организовать в полосе волн 1530-1560 нм по индивидуальному варианту из табл.2.1 и 2.2. Определить доступный *скоростной режим* передачи в оптической системе на основе волокон типа MCF-FMF при использовании DWDM и заданных скоростных режимов передачи на отдельных оптических несущих частотах по варианту табл.2.1 и 2.2. Предложить *формат модуляции* оптического сигнала для индивидуального варианта, соответствующего скорости передачи, полосе частот оптического канала и рассчитанный на *максимальную дистанцию* передачи.

Табл.2.1. Частотный интервал каналов DWDM и скоростные режимы в каналах

Вариант	Предпоследняя цифра номера студенческого билета или номера пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Частотный интервал DWDM, ГГц	50	75	100	125	150	200	50	75	100	200
Скорость передачи в канале, Гбит/с	40	100	200	400	40	400	100	200	400	200

Табл.2.2. Число сердцевин MCF и число мод FMF

Вариант	Последняя цифра номера студенческого билета или номера пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число сердцевин MCF	3	5	7	9	11	14	16	19	21	23
Число мод в каждой сердцевине FMF	3	2	1	4	4	3	3	2	2	1

Методические указания для решения задачи 2

1. Для решения задачи необходимо внимательно проработать разделы 1-3 конспекта на предмет спектрального диапазона волн, на предмет возможностей волокон типа MCF – FMF и форматов модуляции с привязкой к дистанции передачи и полосе частот оптического канала.
2. Учесть, каждая из мод не зависима от других мод FMF и поддерживает спектральное мультиплексирование DWDM!

По полученным результатам расчётов сделать вывод о возможностях оптических систем передачи на основе волокон типа MCF-FMF по поддержанию максимальных скоростных режимов и местах их применения.

Контрольные вопросы к разделу 3

1. Какие волоконные световоды используются в оптических сетях связи?
2. Каков предел возможной скорости передачи в одномодовом оптическом волокне и чем он ограничен?
3. Какими способами можно достигнуть скорости передачи 100Тбит/с в одномодовом стандартном волокне?
4. Что обозначает термин «Flex»?
5. Что такое сетка частот в технике оптической связи?
6. Что называют частотным слотом в технике оптической связи?
7. Какие сетки оптических частот предусмотрены стандартами?
8. Чем отличаются сетки частот flex grid от fixed grid?
9. В чём может быть выигрыш от применения flex grid?
10. Что предусмотрено стандартами G.694.1 и G.694.2?
11. В каких диапазонах оптических волн для стандартных волокон волны сетки G.694.2 имеют наименьшие потери оптической мощности?
12. В каких модулях реализуют сетки волн CWDM?
13. Что предусмотрено в серии рекомендаций ITU-T G.709 (1,2,3)?
14. Что определяет пятая редакция рекомендации G.709?
15. Чем отличаются три структуры цифровых интерфейсов для оптической транспортной сети по рекомендации G.709?

16. Какая из структур оптической части интерфейсов для оптических транспортных сетей обеспечивает наибольшую функциональную наполненность?

17. В каком порядке происходит формирование цифровых блоков оптического канала?

18. Какое назначение имеют заголовки OPUk OH, ODUk OH, OTUk OH, OCh-O, OMS-O, OTS-O?

19. Для чего предусмотрен блок OTUk FEC?

20. Чем отличается функциональное наполнение интерфейсов MOTUm от SOTUm?

21. В каком порядке могут размещаться цифровые данные в блоках OTUCn?

22. Чем отличаются друг от друга блоки OTU1, OTU2, OTU3, OTU4?

23. Для чего нужны в схеме мультиплексирования блоки ODTUG?

24. Что входит в структуру OTUk и OTUCn?

25. Что следует отнести к понятию «гибкие скорости» в OTN?

26. Что обозначает размещение нагрузки в виде CBR и IMP?

27. Что входит в секцию передачи OTS и секцию мультиплексирования OMS?

28. Чем отличаются заголовки блоков OTUk и OTUCn?

29. Для чего предназначен блок данных OSMC в заголовке OTUk и OTUCn?

30. Что определяют байты и биты PM и TCM в заголовках ODUk?

31. Что обозначает сокращение APS/PCC в заголовке ODUk?

32. Что предусмотрено в стандарте G.709.1 для построения гибкой оптической сети?

33. Что предусмотрено в базовой сигнально-информационной структуре интерфейса FlexO?

34. Что входит в структуру кадра FlexO?

35. Какой период имеют кадры FlexO?

36. Чем образуется сверхцикловая структура FlexO?

37. Для чего нужны маркеры выравнивания AM?

38. Что рассмотрено в рекомендации G.709.2?

39. В чём особенности кадров OTU4-SC?

40. Что рассмотрено в рекомендации G.709.3?

41. Какие оптические суперканалы предусмотрены рекомендациями G.709.3?

42. Что обозначает индекс Sn в структуре интерфейса G.709.3?

43. В чём состоят особенности структуры группового интерфейса FlexO-x-SC-m?

44. Какую последовательность можно проследить в процессе формирования линейного сигнала в интерфейсе FlexO-x-SC-m?

45. Какие транспондеры способны поддерживать функции интерфейса FlexO-x-SC-m?

46. Какие оптические интерфейсы рассматриваются в рекомендации G.695?
47. Какие скоростные режимы передачи предусмотрены в оптических интерфейсах по рекомендации G.695?
48. Что отражается в системе обозначений оптических интерфейсов по рекомендации G.695?
49. Чем отличаются структуры оптических интерфейсов типа black link и black box?
50. Что предусмотрено в рекомендации G.959.1 для построения интерфейсов гибкой оптической сети?
51. Что отражается в системе обозначений оптических интерфейсов по рекомендации G.959.1?
52. Что рассмотрено в рекомендации G.698.2?
53. Какие структуры оптических сетей поддерживаются интерфейсами по рекомендации G.698.2?
54. Что отражается в системе обозначений оптических интерфейсов по рекомендации G.698.2?
55. Что такое риппл?
56. Что определяет рекомендация G.698.2?
57. Что определено в дополнении к рекомендациям G.Sup.58?
58. Чем отличаются интерфейсы FOIC1.4-RS, FOIC2.8-RS, FOIC4.16-RS, FOIC1.2-RS, FOIC2.4-RS, FOIC4.8-RS?
59. Что обозначает PAMn в стандарте IEEE802.3?
60. Что входит в состав модуля CFP-8?
61. Чем в обозначениях отличаются интерфейсы Ethernet для гибкой оптической сети?
62. На что нацелены разрабатываемые стандарты IEEE802.3 для оптических сетей?
63. Что в стандартах IEC имеет отношение к построению гибкой оптической сети?
64. Что можно измерить прибором FTB-500?
65. С какой целью разработаны интерфейсы GFC (8/10/16GFC...)?

Задача 3

Составить *схему цифровой последовательности* мультиплексирования OTN/OTN поколения 5G для потоков клиентской нагрузки по варианту из табл.3.1 в структуру кадра OTUk/OTUCn по варианту из табл.3.2. Для составления схемы использовать обозначения по рис.3.16 конспекта лекций. Определить *требуемое число* параллельно формируемых блоков OTUk/OTUCn под каждую клиентскую нагрузку. При несоответствии транспортных блоков нагрузочным сигналам *предложить свой вариант* схемы мультиплексирования с обоснованием.

Табл.3.1. Клиентская нагрузка

Вариант	Предпоследняя цифра номера студенческого билета или номера пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип нагрузки и скорость данных, Гбит/с	Eth 10×10 Гбит/с	STM- 256 4×40 Гбит/с	Eth 4×100 Гбит/с	Eth 400 Гбит/с	STM- 64 10×10 Гбит/с	Eth 1,2 Тбит/с	Eth 2,4 Тбит/с	STM- 16 2,5×10 Гбит/с	Eth 2×100 Гбит/с	Eth 3×100 Гбит/с

Табл.3.2. Тип транспортного блока

Вариант	Последняя цифра номера студенческого билета или номера пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип блока OTUk/OTUCn	OTU 4	OTU 3	OTUC 2	OTUC 4	OTU 3	OTU 4	OTUC 2	OTUC 4	OTU 4	OTU 3

Методические указания к задаче 3

1. Изучить схемы мультиплексирования цифровых блоков OTN/OTN поколения 5G по главе 1 конспекта. Обратить внимание на возможности гибкого распределения клиентской нагрузки по отдельным цифровым блокам OTUk/OTUCn.
2. При необходимости использовать суперканальные оптические структуры для передачи блоков OTUCn.

По построенной схеме мультиплексирования и подсчитанному количеству транспортных блоков OTUk/OTUCn сделать вывод о количестве ступеней цифрового мультиплексирования и требуемом количестве оптических несущих и/или поднесущих частот.

Контрольные вопросы к разделу 4

1. Что относится к компонентной базе современных оптических сетей?
2. Что относят к недостаткам дискретных компонентов оптических сетей?
3. С чем связано развитие современной базы компонентов оптических сетей?
4. Что может входить в состав фотонной интегральной схемы (PIC)?
5. Какие функции выполняет транспондер в оптической сети?
6. Чем отличаются транспондеры BVT и S-BVT?
7. Какими средствами достигается режим передачи 1Тбит/с в транспондере S-BVT?
8. В чём состоят преимущества гибкого мультиплексирования в S-BVT?
9. Какие структуры передатчиков могут быть реализованы в S-BVT?
10. Что обозначает ROADM?
11. Что обозначает CDC-ROADM?
12. Какие компоненты используются для построения CDC-ROADM?
13. Из каких секций может состоять CDC-ROADM?
14. Какие функции выполняет WSS в составе ROADM?

15. Чем отличаются ROADM с цветными и бесцветными портами?
16. Что обозначает N×M в оптическом коммутаторе?
17. Какие компоненты может иметь сетевой элемент оптической сети?
18. Что называют сетевым элементом оптической транспортной сети?
19. Когда необходима реализация гибко управляемой оптической сети?
20. Что требуется для построения узла оптической сети типа AoD?
21. Что обозначает SERANO?
22. Для чего нужен AoDFlex-OXC?
23. Какие проблемы могут создавать узлы оборудования ROADM, OXC для организуемых оптических каналов?
24. Для чего нужна маршрутизация в оптической сети?
25. Какие виды маршрутизации могут быть предусмотрены в оптической сети?
26. Какие критерии необходимо иметь для составления маршрута оптического канала в оптической сети?
27. Для чего составляются и используются таблицы частотных ресурсов оптической сети?
28. Для чего нужен алгоритм маршрутизации?
29. В чём отличие статической и динамической маршрутизации?
30. Когда и почему необходимо использовать несколько частотных слотов для построения оптического канала?

Задача 4

*Составить схему для организации связи кольцевой оптической транспортной сети OTN/OTN с применением n ROADM (табл.4.1) и образованием от одного ROADM к каждому из (n-1) других по m (табл.4.2) оптических каналов на скорости (X)Гбит/с. Рассчитать *требуемое количество транспондеров и выбрать их из каталога* для реализации этой сети на основе оборудования ВОЛГА от Т ∞ (www.t8.ru).*

Табл.4.1. Число ROADM в кольцевой сети

Вариант	Предпоследняя цифра номера студенческого билета или номера пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число ROADM, n	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7

Табл.4.2. Оптические каналы и скоростные режимы

Вариант	Последняя цифра номера студенческого билета или номера пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число оптических каналов, m	16	12	10	8	6	15	13	11	9	4
X– скорость в оптическом канале, Гбит/с	10×10	2,67	4×2,5	200,0	8×1,25	2,5	100TU2	OTU2e	100	400

Методические указания к задаче 4

1. Для решения задачи необходимо изучить продукцию компании T∞, т.е. комплекс оборудования ВОЛГА и выбрать необходимые компоненты: транспондеры, мукспондеры, мультиплексоры ROADM, оптические усилители, корзины для размещения отдельных плат.
2. Составить схему организации связи, используя систему обозначений, приведённую в разделе 8.2 конспекта.
3. Составить ведомость комплектации с подсчётом числа требуемых транспондеров и мукспондеров с указанием потребляемой мощности от источников электропитания.

По построенной схеме организации связи и комплектации сделать выводы на предмет ёмкости требуемых корзин оборудования и потребляемой энергии всех узлов от источников электропитания.

Контрольные вопросы к разделу 5

1. Что должно оцениваться специалистами перед реализацией гибкой оптической сети?
2. Что классифицируется в функциях гибкости оптической сети?
3. Что классифицируется в оптимизации исполнения гибкой оптической сети?
4. Что обозначает CAPEX и OPEX?
5. Какой выигрыш может обеспечить применение FEC в оптическом канале?
6. За счёт чего можно повысить эффективность использования оптического канала?
7. На что влияет переход от формата модуляции оптического сигнала DP-QPSK к формату модуляции DP-16QAM?
8. Что позволяет достигать в оптических сетях гибкое управление полосой оптического канала и форматом модуляции?
9. Когда не оптимально используется в соединениях полоса частот оптического спектра?

11. Чем отличаются схемы оптических передатчиков для статического и динамического управления полосой частот суперканалов?

10. Чем отличаются статическое и динамическое управление распределением полос частот под оптические каналы?

12. Перечислите возможные настройки оптических интерфейсов для гибкой оптической сети!

13. Что общего и чем отличаются волокна типов SMF, MCF, FMF?

14. В чём заключаются возможности пространственного мультиплексирования оптических сигналов в волокнах SMF, MCF, FMF?

15. Какими способами можно обеспечить максимальное использование ресурсов оптических волокон для передачи информационных сигналов?

16. Что должно быть предусмотрено среди устройств, входящих в узлы с пространственно-волновыми соединениями и кроссовой коммутацией?

17. В чём состоит гибкость агрегации трафика клиентов в оптической сети?

18. Какие услуги клиентов поддерживают гибкие оптические сети?

19. Для чего нужно резервирование в гибкой оптической сети?

20. Что может быть зарезервировано или защищено в гибкой оптической сети?

21. Какой временной интервал срабатывания защитного переключения требуется в оптической сети для сохранения непрерывности трафика?

22. Какие устройства используются для защитной коммутации оптических соединений?

23. Когда должно срабатывать защитное переключение?

24. В чём может быть недостаток в защитных переключениях ROADM?

25. Чем можно быстро коммутировать оптические волокна?

26. Что обозначают схемы защиты 1+1 и 1:1?

27. Где приводится подробная информация о схемах защиты соединений в оптической сети?

28. В каких направлениях может развиваться функциональная гибкость оптической сети?

29. Что входит в состав оборудования кроссовой коммутации от T8?

30. Какие варианты защиты оборудования и соединений предусмотрены в кросс-коммутаторе T8?

Задача 5

Для разработанной схемы организации связи в задаче 4 по варианту составить *схему защиты двунаправленного соединения* оптического канала сети от первого узла к узлу (n-1) (табл.5.1). Рассчитать минимальную *коммутационную ёмкость* ROADM, которая поддержит защитное переключение m (табл.5.2) оптических каналов в каждом узле сети по схеме 1+1.

Табл.5.1. Узлы с ROADM и секции с повреждениями

Вариант	Предпоследняя цифра номера студенческого билета или номера пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Узел (n-1)	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
Повреждённая секция мультиплексирования между узлами	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	3-1	3-2	4-3	5-4	2-3

Табл.5.2. Число защищаемых двунаправленных оптических каналов

Вариант	Последняя цифра номера студенческого билета или номера пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число защищаемых оптических каналов, m	8	6	5	4	3	7	5	4	2	4

Методические указания к задаче 5

1. Изучить раздел 5.4 конспекта относительно организации двунаправленных соединений и возможностей переключения на резерв, составить схему срабатывания защиты по варианту задания для одного самого протяженного канала! На схеме обозначить узлы номерами: главный узел сети имеет обозначение 1; последующие узлы обозначаются по часовой стрелке по порядку 2, 3,...

2. Определить количество поддерживаемых коммутаций (или ключей) во всех ROADM для защиты соединений по варианту.

Составить выводы по результатам разработки схемы и расчёта количества коммутаций.

Контрольные вопросы к разделу 6

1. Для чего нужна синхронизация в цифровых сетях связи?
2. Какие иерархические уровни реализуются в сети синхронизации?
3. Какие последствия могут быть в сети связи при нарушении синхронизации?
4. Чем отличается синхронизация на физическом и канальном уровнях?
5. Что такое проскальзывание?
6. Как нормируются проскальзывания?
7. Какой должна быть стабильность тактовых генераторов в сети синхронизации для выполнения требований рекомендации ITU-T G.822?
8. Что представляют собой джиттер, вандер, PDV?
9. Когда и какие устройства синхронизации используются в сети с пакетной передачей?
10. Что предусмотрено в эталонных гипотетических моделях синхронизации пакетных сетей HRM-1 и HRM-2?

11. Какие функции в сети пакетной синхронизации выполняют устройства T-GM, T-BC, T-TS, T-TSC?
12. Какие характеристики используются для описания качества синхронизации в сети связи?
13. Для чего нужны протоколы RTP, NTP?
14. Сколько ступеней синхронизации предусмотрено в протоколе RTP?
15. Какие команды используются в протоколе RTP?
16. Что достигается применением протокола RTP?
17. Какие нормативы предусмотрены для количества пакетов в протоколе RTP?
18. Какие способы реализации предусмотрены для протокола RTP?
19. Какие сигналы синхронизации используются на физическом уровне?
20. Что обозначает QL в описании синхронизации сети?
21. Чем поддерживается синхронизм в сети SyncE?
22. Что передаётся в канале ESMC?
23. Где может размещаться маркер синхронизации SSM?
24. Какими сигналами может сообщаться в сети о качестве синхронизации?
25. Какие разновидности оборудования разработаны для сетей синхронизации?
26. Чем отличаются PRC от ePRC?
27. Какое оборудование сетей синхронизации обеспечивает ретайминг информационных цифровых сигналов?
28. Чем отличается оборудование типа Grand master от оборудования типа Slave?
29. Когда необходимо использовать в сети синхронизации ГЛОНАСС или другую навигационную систему?
30. Когда в сети синхронизации нужно использовать модуль OSA 5401 Syncplug?

Задача 6

Определить изменение физической длины линейного пути и относительное изменение скорости передачи цифрового сигнала на приёме (нестабильность поступления синхросигнала в формате NRZ) при изменении температуры среды, окружающей кабель. Длина линии и тип заданы в табл. 6.1 и 6.2. Считать, что температура изменяется на $\Delta t^{\circ}\text{C}$ за время более 1 часа.

Табл. 6.1. Параметры линии

Параметры	Предпоследняя цифра номера студенческого билета или номера пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип линии	ов	ов	ов	ов	ме	ов	ов	ов	ов	ов
Изменение температуры $\Delta t^{\circ}\text{C}$	27	19	22	24	14	11	23	17	28	15
Коэффициент температурного расширения, Кт, 1/Град С	2.8×10^{-4}	6.4×10^{-4}	3.1×10^{-4}	2.2×10^{-4}	16.1×10^{-6}	1.5×10^{-4}	2.6×10^{-4}	1.59×10^{-4}	3.2×10^{-4}	1.62×10^{-4}
Скорость передачи В, Гбит/с	2,5	2,66	10,7	43,01	1,25	111,8	10,0	40,0	100,0	50,5

Примечание: ме – медная линия; ов – оптоволоконная линия

Табл. 6.2. Длина линии

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета или номера пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина линии, L, км	434	656	1365	895	2048	3253	859	1111	2222	935

Методические указания к решению задачи 6

При решении задачи необходимо учесть следующие расчётные соотношения: изменение длины пути $\Delta L = L \times K_T \times \Delta t^{\circ}\text{C}$; изменение скорости передачи $\Delta V = V \times \Delta L / V$, где V скорость распространения электромагнитной волны в электрической или оптической линии ($V_{\text{ме}} = 47300$ км/с, $V_{\text{ов}} = C/n_1$, $n_1 = 1,463$; $C \approx 3 \times 10^8$ м/с); нестабильность битовой скорости за 1 час

$\Delta R = \Delta V / 3600$ [бит/с]; относительная нестабильность цифрового сигнала на приёме $A = \Delta R / V$.

По результатам решения задачи сформулировать выводы относительно воздействия температурных перепадов на время появления синхронизирующих воздействий на приёмной стороне. Оценить, насколько временная задержка отличается от нормативной для синхронизации пакетной передачи (раздел 6.2 конспекта).

Контрольные вопросы к разделу 7

1. Что такое TMN?
2. Что такое ASON?
3. Для чего используются TMN и ASON?
4. Для чего используется протокол GMPLS?
5. Что такое T-SDN?
6. Для чего создали T-SDN?
7. Что такое NFV?

8. Что входит в модель SDN?
9. Какой порядок взаимодействия в модели SDN?
10. Для чего нужен протокол OpenFlow?
11. Что следует понимать под виртуализацией сети?
12. Для чего нужны контроллеры T-SDN?
13. Какие требования предъявляются к контроллерам T-SDN?
14. Какие виды контроллеров могут использоваться в T-SDN?
15. Что называют сетевым элементом транспортной сети?
16. За что отвечает контроллер домена T-SDN?
17. Какие функции выполняет сетевой контроллер T-SDN?
18. Какие функциональные блоки может реализовать сетевой контроллер T-SDN?
19. Какие функции может поддерживать сетевой контроллер в гибкой оптической сети?
20. В чём преимущества использования T-SDN?
21. Для какого поколения оптических транспортных сетей актуально использование технологии T-SDN?

Контрольные вопросы к разделу 8

1. Что следует понимать под планированием гибкой оптической транспортной сети?
2. Что учитывается при планировании оптической сети?
3. Как можно учесть возможности изменения шага частотных слотов при планировании гибкой оптической сети?
4. Какие коммутационные возможности узлов связи нужно учитывать при планировании гибкой оптической сети?
5. Для чего нужно моделировать гибкие оптические сети?
6. Какие оптические транспортные сети могут поддержать развитие мобильных сетей 5G?
7. Для чего нужно оценивать CAPEX на стадии планирования?
8. Какие функции гибкости для оптической сети поддерживают транспондеры BVT, S-BVT?
9. Что должно быть итогом планирования гибкой оптической сети?
10. С чего начинается проектирование гибкой оптической сети?
11. Что может быть предметом расчётов при проектировании гибкой оптической сети?
12. Для чего нужно учитывать энергетическую эффективность оборудования гибкой оптической сети?
13. В каком режиме работы агрегирующий транспондер MS400E наиболее экономичен по расходу электроэнергии?
14. Что учитывается в комплектации оборудования?
15. Какие измерительные приборы необходимо предусмотреть для проектируемой оптической сети?
16. Что отображается на схемах организации связи?

17. Что нужно обозначить на схеме синхронизации цифрового оборудования гибкой оптической сети?

18. Какие компании производят современное и перспективное оборудование для построения гибких оптических сетей?

19. Чем можно объяснить различную дистанцию организации оптических каналов на волокнах G.652 и G.655?

20. Как нужно учитывать при проектировании полосу пропускания, задаваемую в данных транспондера, для оптического канала в волокне?

Задача 7

Используя данные табл.8.1 конспекта лекций определить число спектральных каналов и максимальную скорость передачи, поддерживаемую этими каналами в оптическом диапазоне волн С, которую можно организовать транспондерами Х (табл.7.1) типа BVT, S-BVT на дистанцию Y (табл.7.2) по стандартным одномодовым волокнам.

Табл.7.1. Транспондеры гибкой оптической сети

Вариант	Предпоследняя цифра номера студенческого билета или номера пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Х-транспондеры	CG-400-1L	CG-400-2L	CG-1T-5L	CG-1T-4L	CG-1T-3L	CG-400-1L	CG-400-2L	CG-1T-5L	CG-1T-4L	CG-1T-3L
Требуемая скорость в канале, Гбит/с	400	400	1000	1000	1000	300	200	500	250	666

Табл.7.2. Дистанция организации связи

Вариант	Последняя цифра номера студенческого билета или номера пароля									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Y-дистанция, км	60	600	400	800	500	1000	120	340	280	380

Методические указания для решения задачи 7

1. Обратит внимание на данные табл. 8.1 конспекта по допустимым дистанциям организации связи. Если данные по дистанции не соответствуют заданным в табл.7.2 для указанных скоростей необходимо дробить скоростной режим на более мелкие составляющие, например, 400 Гбит/с на 4 по 100 Гбит/с в отдельные каналы, как предусмотрено в транспондерах BVT, S-BVT.

2. Для определения возможностей оптического диапазона С необходимо обратиться к разделу 1.1 конспекта.

По результатам расчётов представить выводы о возможности использования транспондеров гибкой оптической сети типа BVT, S-BVT для организации связи на заданные дистанции и доступные на них скоростные режимы с соответствующими форматами модуляции.

Контрольные вопросы к разделу 9

1. С какой целью выполняется расчёт оптических каналов?
2. Какие исходные данные необходимы для выполнения расчётов оптических каналов?
3. Что является предметом расчёта оптических каналов?
4. Что учитывается в расчёте затухания?
5. Что учитывается при расчёте дисперсии?
6. Что учитывается при расчёте OSNR?
7. Какие диаграммы строятся для анализа результатов расчёта оптического канала?
8. Какими путями можно добиваться выполнения требования по OSNR для протяженных оптических каналов?
9. В чём особенности расчётов когерентных оптических каналов?
10. Что такое grooming в оптической сети?